



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง

โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่
EGGSHELL CALCIUM-FORTIFIED CORN MILK YOGHURT

โดย

วิจิตรา แดงปรก ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา
2550



รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เรื่อง โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่
EGGSHELL CALCIUM-FORTIFIED CORN MILK YOGHURT

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2548-2549
จำนวน 327,000 บาท

หัวหน้าโครงการ	วิจิตรา	แดงปรก
ผู้ร่วมโครงการ	ปิยวรรณ	ศุภวิทิพัฒนา

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

20 กรกฎาคม 2550

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนการวิจัย จากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2548-2549 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณนักศึกษา (ประพันธ์ สำราญ ชมพู เอ็ง ฝน ออมและดี๊ก) ที่ช่วยทำงานวิจัยนี้ บางส่วน ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ที่สนับสนุนการทำงาน วิจัยนี้ จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี สุดท้ายขอขอบคุณสมาชิกครอบครัวที่เสียสละเวลา ที่ควรได้ให้กับงานวิจัยนี้ และเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

วิจิตรา แดงปรก

ปิยวรรณ ศุภวิทิพัฒนา

20 กรกฎาคม 2550



สารบัญเรื่อง

	หน้า
บทคัดย่อ	i
ABSTRACT	ii
กิตติกรรมประกาศ	iv
สารบัญเรื่อง	v
สารบัญภาคผนวก	vi
สารบัญตาราง	vii
สารบัญภาพ	ix
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 การตรวจเอกสาร	3
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์	26
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	50
ภาคผนวก	54
ประวัตินักวิจัย	65

สารบัญภาคผนวก

ภาคผนวกที่		หน้า
1	การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %กรดแลคติก)	54
2	การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม	55
3	การวิเคราะห์ค่าการแยกตัวของน้ำ (syneresis)	57
4	การวิเคราะห์ความหนืด	58
5	การวัดค่าสี	59
6	แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	60
7	การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> และ <i>Streptococcus thermophilus</i>	61
8	ภาพประกอบ	63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวาน	4
2	ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการต่อวัน	14
3	ปริมาณของแคลเซียมในอาหารชนิดต่างๆ	15
4	คุณลักษณะที่สำคัญของเกลือแคลเซียมทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร	16
5	คุณสมบัติของแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่	34
6	°Brix ของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร	35
7	pH และค่าความเป็นกรดทั้งหมด(%ของกรดแลคติก)ของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร	36
8	ปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร	37
9	ค่า L*, a* และ b ของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร	38
10	ปริมาณการแยกชั้นของน้ำของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร	38
11	ค่าความหนืดของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร	39
12	การทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร	41

ตารางที่

หน้า

13	ปริมาณเชื้อ <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> และ <i>Streptococcus thermophilus</i> ของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 ^o ซี เป็นระยะเวลา 0 และ 7 วัน ($\times 10^6$ โคโลนี/มิลลิลิตร)	42
14	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร โดยทำการควบคุมระยะเวลาในการหมักเท่ากับ 8 ชั่วโมง	44
15	คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยทำการควบคุม pH สุดท้ายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 4.6	47



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วิธีการเตรียมแคลเซียมแลกเตตจากเปลือกไข่	22
2	ลักษณะของน้ำนมข้าวโพดจากข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส 5	26
3	ค่า pH ในระหว่างกระบวนการหมัก 0 ถึง 8 ชั่วโมงของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ทำการเติมแคลเซียมแลกเตต	28
4	ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) ในระหว่างกระบวนการหมัก 0 ถึง 8 ชั่วโมงของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ทำการเติมแคลเซียมแลกเตต	29
5	ค่า pH ในระหว่างกระบวนการหมัก 0 ถึง 8 ชั่วโมงของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ทำการเติมแคลเซียมกลูโคเนต	31
6	ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) ในระหว่างกระบวนการหมัก 0 ถึง 8 ชั่วโมงของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ทำการเติมแคลเซียมกลูโคเนต	32
7	ลักษณะของเกลือแคลเซียมจากเปลือกไข่เปรียบเทียบกับที่จำหน่ายในทางการค้า	33
8	เจลลาติน	63
9	การพาสเจอร์ไรซ์น้ำนมข้าวโพดด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)	63
10	การบ่มโยเกิร์ตในตู้บ่ม (incubator)	64
11	ลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด	64

โยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่ EGGSHELL CALCIUM-FORTIFIED CORN MILK YOGHURT

วิจิตรา แดงปรก¹ ปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา²
WICHITTRA DAENGPROK¹ PIYAWAN SUPHAVITITPATANA²

¹ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

² โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะเทคโนโลยีการเกษตร
มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตต่อกระบวนการหมักโยเกิร์ต นํ้านมข้าวโพด โดยเตรียมโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดจากข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส 5 ทำการศึกษาที่ ปริมาณแคลเซียม 3 ระดับ คือ 60, 90 และ 120 มก.แคลเซียม/100 มล.เปรียบเทียบกับตัวอย่าง ที่ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่างควบคุม) ทำการวัดค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) พบว่าการเติมแคลเซียมแลคเตต และปริมาณแคลเซียมแลคเตตที่เพิ่มขึ้นทำให้ ค่า pH ลดลง และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) เพิ่มขึ้น ส่วนการเติม แคลเซียมกลูโคเนต 90 และ 120 มก.แคลเซียม/100 มล. ทำให้ค่า pH ของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้น แต่ไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด ทำการเตรียมแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตจาก เปลือกไข่ เติมแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่ และที่จำหน่ายในทาง การค้าในโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดในปริมาณ 60 มก.แคลเซียม/100 มล. ศึกษาคุณภาพในด้าน ต่างๆของโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดที่ได้เปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่าง ควบคุม) ในระหว่างการเก็บรักษาที่ 4°C เป็นเวลา 0 และ 7 วัน ผลการทดลองพบว่า การเติม แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้าและจากเปลือกไข่ไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลาย ได้ทั้งหมด pH ค่าความเป็นกรดทั้งหมด (คิดเป็น %ของกรดแลคติก) ค่าสี และการแยกชั้นของ นํ้า ($p>0.05$) คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของรสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมไม่

แตกต่างกัน ส่วนคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของสี กลิ่นและความหนืดแตกต่างกัน โดยมีคะแนนลดลงเมื่อเติมแคลเซียมกลูโคเนตทั้งจากเปลือกไข่และที่จำหน่ายในทางการค้า ส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* พบว่าโยเกิร์ตทุกตัวอย่างมีปริมาณเชื้อทั้งสองชนิดสูงกว่า 10^8 โคโลนี/มิลลิลิตร ดังนั้นโยเกิร์ตที่นำมาทำพุดดิ้งเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่ สามารถเป็นแหล่งที่ดีของแคลเซียมได้ โดยมีปริมาณแคลเซียมอยู่ในช่วง 25.00-28.93% Thai RDI (199.80-231.45 มก./1 หน่วยบริโภค หรือ 150 มิลลิลิตร)

ABSTRACT

The effects of calcium lactate (CL) or calcium gluconate (CG) addition at the levels of 60, 90 and 120 mg Ca/100 ml on fermentation process of corn milk yoghurt as indicated by pH and total acidity (as %lactic acid) were studied, as compared to the control (no added calcium). It was found that CL at all levels employed in this study did decrease pH level but at the same time, increased total acidity value. In contrast, addition of CG at the levels of 90 and 120 mg Ca/100 ml made pH higher than the control ($p \leq 0.05$) but without any effect on total acidity (as %lactic acid) value. Eggshell CL or CG were prepared and studied the effect of CL and CG both from commercial and eggshell addition at the level of 60 mg Ca/100 ml on the quality of corn milk yoghurt in comparison with corn milk yoghurt without added calcium (the control). It was shown that calcium fortification either with CL or CG had no effect on total soluble solids, pH, total acidity (as %lactic acid), colour value and syneresis ($p > 0.05$). The sensorial scores of taste, texture and total acceptance were not different. However yoghurt fortified with commercial- or eggshell calcium gluconate received lower sensorial scores of colour, flavour and consistency ($p < 0.05$). The counts of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus* were higher than 10^8 CFU/ml throughout the period of storage time of 7 days in all samples, i.e. the control, CL- and CG- fortified both from commercial and eggshell, with the calcium content of 87.84, 154.30, 133.20, 140.00 and 137.55 mg /100 g, respectively. In conclusion, calcium-fortified corn milk yoghurt can be used as

a good source of calcium with the calcium level of 25.00-28.93% Thai RDI (199.80-231.45 mg/1 serving or 150 ml).



บทที่ 1

บทนำ

ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

ข้าวโพดหวาน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Ze mays saccharata* เป็นข้าวโพดที่ปลูกเพื่อรับประทานในรูปฝักสด โดยเฉพาะเมล็ดอ่อนมีลักษณะโปร่งแสง และมีรสหวาน เนื่องจากมีน้ำตาลมาก (กรมวิชาการเกษตร, 2524) ในปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยได้ทำการส่งออกข้าวโพดหวานในรูปข้าวโพดหวานกระป๋อง ข้าวโพดหวานสด และข้าวโพดหวานแช่แข็ง คิดเป็นมูลค่า 683 ล้านบาท นอกจากนั้นยังมีรายงานว่าผลผลิตข้าวโพดหวาน 50% ถูกส่งเป็นวัตถุดิบของโรงงานแปรรูปข้าวโพดหวานในราคา 2.50-3.00 บาทต่อกิโลกรัม ซึ่งหากขายในตลาดบริโภคสด จะขายได้ในราคา 1.34 บาทต่อกิโลกรัม (อธิ, 2545) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการขายข้าวโพดหวานให้แก่โรงงานแปรรูปจะทำให้เกษตรกรมีรายได้สูงขึ้น ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาการแปรรูปข้าวโพดหวานในรูปแบบใหม่ๆ เช่น การผลิตนํ้านมข้าวโพด และการผลิตโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพด เป็นต้น เพื่อให้เกษตรกรสามารถขายข้าวโพดหวานให้กับโรงงานได้เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังเป็นการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ให้เป็นทางเลือกที่หลากหลายขึ้นให้กับผู้บริโภค เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวโพดหวาน และส่งเสริมรายได้ให้แก่เกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง

ปัจจุบันผู้บริโภคเริ่มให้ความสำคัญกับสุขภาพ มีแนวโน้มที่จะบริโภคอาหารเพื่อสุขภาพ และผลิตภัณฑ์อาหารเสริมมากขึ้น โยเกิร์ตเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อสุขภาพอย่างหนึ่ง โดยนอกจากจะได้สารอาหารชนิดต่างๆ โดยเฉพาะโปรตีนจากนํ้านมแล้ว ยังได้รับประโยชน์จากแบคทีเรียกรดแลคติก (lactic acid bacteria) ที่ใช้ในการหมักอีกด้วย วัตถุดิบหลักคือนํ้านมวัว ซึ่งมีราคาแพงและอาจทำให้เกิดการแพ้นํ้ามวัวได้ ดังนั้นโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดจึงได้รับการพัฒนาขึ้นมา (จิรากร, 2546)

โยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดได้จากการหมักของแบคทีเรียกรดแลคติกเช่นเดียวกับโยเกิร์ตที่วางจำหน่ายในท้องตลาดโดยทั่วไปแต่แตกต่างกันที่โยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดใช้นํ้านมข้าวโพดเป็นวัตถุดิบหลักแทนนํ้านมวัว เหมาะกับผู้บริโภคที่ไม่ชอบหรือไม่สามารถรับประทานผลิตภัณฑ์นมได้ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับโยเกิร์ตจากนํ้านมวัว พบว่าโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดมีปริมาณแคลเซียมในปริมาณที่ยังไม่เทียบเท่ากับโยเกิร์ตจากนํ้านมวัว ดังนั้นในงานทดลองนี้จึงได้ทำการเสริมแคลเซียมในโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพดเพื่อให้สามารถเป็นแหล่งของแคลเซียมที่ดีได้ใกล้เคียงกับโยเกิร์ตจากนํ้านมวัว แต่อย่างไรก็ตามการเติมเกลือแคลเซียมชนิดต่างๆลงในโยเกิร์ตนํ้านม

ข้าวโพดอาจมีผลต่อการเจริญเติบโต และการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทในการผลิตโยเกิร์ต นำนมข้าวโพด รวมทั้งคุณลักษณะต่างๆของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดที่ได้

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของเกลือแคลเซียมต่อการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติกในโยเกิร์ต นำนมข้าวโพด
2. เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของเกลือแคลเซียมต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพ จุลินทรีย์และประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม

วัน เวลา และสถานที่ทำการวิจัย

วัน เวลา: ปี พ.ศ. 2548-2549

สถานที่: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบผลของการเติมแคลเซียมต่อกระบวนการหมักโยเกิร์ต นำนมข้าวโพด
2. ทราบคุณสมบัติทางเคมี กายภาพ ทางจุลินทรีย์ และประสาทสัมผัสของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่มีการเสริมแคลเซียม
3. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่ กล่าวคือโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม
4. ช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรที่ทำการผลิตข้าวโพดหวาน

บทที่ 2

การตรวจเอกสาร

ข้าวโพดหวาน เป็นพืชที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง และเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค เนื่องจากมีรสหวาน กลิ่นหอม นอกจากนี้ข้าวโพดหวานยังมีคุณค่าทางโภชนาการสูง ซึ่งมีประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างมาก ด้วยเหตุผลดังกล่าวการแปรรูปข้าวโพดหวานเป็นโยเกิร์ต และการเสริมแคลเซียมจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ดีสำหรับผู้บริโภคที่สนใจในเรื่องสุขภาพ ซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากในตอนนี้ได้

ข้าวโพดหวาน

ข้าวโพดมีชื่อเรียกในภาษาอังกฤษว่า maize แต่ในทางอเมริกาเรียกว่า corn และมีชื่อในทางพฤกษศาสตร์ว่า *Zea mays* (หมายถึงพืชให้เมล็ด) จัดเป็นข้าวชนิดหนึ่งที่มีลักษณะลำต้นสูงคล้ายอ้อยหรือข้าวฟ่าง มีเมล็ดกลมๆ ขนาดเท่าถั่วลันเตา ออกชิดกันแน่น เป็นฝักกลมยาว มีกาบหุ้มหลายชั้น มีแหล่งกำเนิดในประเทศ เม็กซิโก สหรัฐอเมริกา และโคลัมเบีย มักขึ้นงอกงามในฤดูที่มีอากาศอบอุ่น โดยถูกนำมาใช้เป็นอาหารหลักของมนุษย์ในหลายๆ ประเทศ โดยเฉพาะในประเทศเขตร้อนและกึ่งเขตร้อนแถบอเมริกาใต้ นอกจากนี้ข้าวโพดยังเป็นพืชที่ปลูกกันอย่างกว้างขวางในประเทศแถบเอเชียหลายประเทศ เช่น อินเดีย อินโดนีเซีย ปากีสถาน ไทย ฟิลิปปินส์ และตุรกี เป็นต้น สำหรับประเทศไทย แม้ไม่ถือว่าข้าวโพดเป็นอาหารหลัก แต่ข้าวโพดก็ถูกใช้เป็นอาหารว่าง หรือของหวานที่รับประทานกันแทบทุกครัวเรือน มีการปลูกกันมาช้านาน เนื่องจากเป็นพืชที่เพาะปลูกได้ง่าย มีความทนทานต่อสภาพดินฟ้าอากาศ ได้ผลผลิตเร็วกว่าข้าว ซึ่งเป็นอาหารหลักของประเทศ อีกทั้งยังให้ผลผลิตเฉลี่ยดีกว่าข้าวเกือบเท่าตัว ทั้งยังสามารถปลูกพืชชนิดอื่นๆ หลัง การเก็บเกี่ยวข้าวโพดได้ในปีเดียวกัน ทำให้รายได้ต่อหน่วยพื้นที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนกลายเป็นสินค้าส่งออกสำคัญของประเทศอีกอย่างหนึ่ง ดังนั้นข้าวโพดจึงนับว่าเป็นพืชที่สำคัญทางเศรษฐกิจของไทยเรา ชนิดของข้าวโพดที่เป็นที่รู้จักกันดี เช่น ข้าวโพดข้าวเหนียว ข้าวโพดหวาน เป็นต้น

ข้าวโพดหวานเป็นข้าวโพดที่รับประทานฝักสดชนิดหนึ่งซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากข้าวโพดข้าวเหนียว มีรสหวานและรสชาติอร่อยกว่าข้าวโพดชนิดอื่นๆ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays saccharata* จัดเป็นพืชในกลุ่มพืชประเภทมีเมล็ด (spermatophyte) เป็นข้าวโพดที่ปลูกเพื่อรับประทานในรูปฝักสด โดยเฉพาะเมล็ดอ่อนมีลักษณะโปร่งแสง และมีรสหวาน

เนื่องจากมีน้ำตาลมาก แต่เมล็ดแก่จะหดตัว และเหี่ยวยุบ (กรมวิชาการเกษตร, 2524) ชนิดของน้ำตาลที่พบมากคือน้ำตาลซูโครสและฟรุกโตส ข้าวโพดหวานมีคุณค่าทางโภชนาการสูง จึงมีความเหมาะสมในการนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ข้าวโพดบรรจุกระป๋อง ข้าวโพดแช่แข็งและน้ำนมข้าวโพด (Makhlouf และคณะ, 1995) องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวานมีดังนี้คือ มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดเท่ากับ 18.45-19.02% ของน้ำหนักเปียก โปรตีนเท่ากับ 2.18-3.20% ของน้ำหนักเปียก ชนิดของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในข้าวโพดหวานคือเซอีน (zein) หรือ โปรลามิน (prolamins) และคอร์น กลูเตลิน (corn glutelin) เซอีนเป็นโปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์ ในขณะที่กลูเตลินละลายในต่าง ข้าวโพดหวานมีไขมันเป็นองค์ประกอบ 1.18-1.26% ของน้ำหนักเปียก ซึ่งประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัว 83.0% ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิดลิโนเลอิก (linoleic acid; C18:2) 57.2% (ตารางที่ 1) นอกจากนี้ข้าวโพดหวานยังมีความสามารถในการรับประทาน (eating quality) สูง กล่าวคือได้รับการยอมรับจากผู้บริโภค เนื่องจากมีกลิ่นรสหอม ซึ่งกลิ่นรสในข้าวโพดหวานประกอบด้วยสารประกอบหลายชนิด ได้แก่ เอทานอล (ethanol) อะซีตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) เมทานีโธล (methanethiol) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogensulfide) และไดเมทิลซัลไฟด์ (dimethyl sulfide; DMS) โดยพบว่าไดเมทิลซัลไฟด์เป็นสารประกอบที่มีความสำคัญมากที่สุดในการให้กลิ่นรสที่ดีของข้าวโพดหวาน (Azanza และคณะ, 1996)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวโพดหวาน

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%)	
	น้ำหนักแห้ง	น้ำหนักเปียก
โปรตีน	9.90-13.31	2.18-3.20
คาร์โบไฮเดรต	76.00-79.12	18.45-19.02
ไขมัน	4.91-5.20	1.18-1.26
เส้นใย	2.10-9.57	0.51-2.30
วิตามินซี	$(2.20-3.01) \times 10^{-2}$	$(5.4-7.6) \times 10^{-3}$

ที่มา: Permoran (1987), Makhlouf และคณะ (1995), Hall (2003).

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อคุณภาพของข้าวโพดหวานมีอยู่ด้วยกันหลายประการ ประการแรก คือ ฤดูปลูก เนื่องจากอากาศร้อนจะทำให้ น้ำตาลภายในเมล็ดเปลี่ยนรูปเป็นแป้งได้ง่าย ซึ่งส่งผลทำให้ความหวานลดลง ดังนั้นข้าวโพดที่ปลูกในช่วงฤดูหนาว หรือช่วงที่มีอากาศเย็นจะมีรสชาติดีกว่าการปลูกในฤดูที่มีอากาศร้อน และหากเก็บผลผลิตข้าวโพดหวานจากต้น และเก็บไว้เป็นเวลานานก็ยิ่งส่งผลให้รสชาติของข้าวโพดที่ผลิตได้มีความหวานลดลง การเก็บรักษาฝักข้าวโพดในตู้เย็น หรือในสภาพอุณหภูมิต่ำอาจช่วยยืดอายุการเก็บรักษา และรักษารสชาติได้นานขึ้น แต่อย่างไรก็ตามควรรีบบริโภคทันทีเมื่อเก็บเกี่ยวใหม่ ดังนั้นแหล่งผลิตข้าวโพดหวานจึงจำเป็นต้องใกล้ชิดตลาด และเมืองใหญ่ๆ สิ่งที่ควบคุมคุณภาพของข้าวโพดหวานอีกประการหนึ่งได้แก่ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยว โดยการเก็บเกี่ยวที่ระยะเวลาพอเหมาะ เมื่อเมล็ดโตเต็มที่หรือใหม่เริ่มมีสีน้ำตาล โดยปกติระยะเวลาการเก็บฝักสดของข้าวโพดหวานที่พอเหมาะคือประมาณ 70 วันหลังเพาะปลูก โดยสังเกตใหม่จะเริ่มแห้ง เมล็ดส่วนปลายของฝักจะสมบูรณ์ (นิพนธ์, ม.ป.ป.) นอกจากนี้ระยะเวลาการต้มก็มีผลต่อคุณภาพของข้าวโพดหวานด้วยเช่นกัน เนื่องจากโดยปกติการต้มข้าวโพดข้าวเหนียวจะต้องใช้ระยะเวลาการต้มนาน จึงจะมีรสชาติมัน และอร่อย แต่สำหรับข้าวโพดหวานไม่เป็นเช่นนั้นการต้มนานจะทำให้รสชาติแฉะ ดังนั้นการต้มข้าวโพดหวานจึงไม่ควรต้มนาน หรือถ้าใช้วิธีนี้ก็จะสามารถรักษารสชาติได้ดีเช่นกัน

โยเกิร์ต

โยเกิร์ต (yoghurt, yogurt) เป็นผลิตภัณฑ์นมหมักชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นที่นิยมบริโภคกันโดยทั่วไป มีการผลิตอย่างน้อย 4,000 ปีมาแล้ว มีแหล่งกำเนิดในแถบย่านภูเขาเคซัส ตุรกี เกาะในทะเลเมดิเตอร์เรเนียนและกลุ่มประเทศตะวันออกบริเวณคาบสมุทรบอลข่าน ต่อมาโยเกิร์ตจึงแพร่ไปสหรัฐอเมริกา ยุโรป และทั่วโลก โยเกิร์ตเกิดจากการเติมแบคทีเรียกรดแลคติก สายพันธุ์กลุ่ม *Lactobacillus* และ *Streptococcus* ลงไปในนมและทิ้งไว้ให้เกิดการหมัก ทำให้เกิดรสเปรี้ยวและโปรตีนในนมเกิดการจับตัวเป็นก้อน Codex Alimentarius (1992) ได้ให้ความหมายของคำว่าโยเกิร์ตตาม Bourlioux และ Pochart (1988) ไว้ดังนี้คือ “ เป็นผลิตภัณฑ์นมที่มีลักษณะเป็นก้อนเนื่องจากกระบวนการหมักของแบคทีเรียกรดแลคติกพวก *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดให้ปริมาณของแบคทีเรียกรดแลคติกในโยเกิร์ตต้องไม่น้อยกว่า 10^8 โคโลนี/กรัม ตั้งแต่ตอนเริ่มทำการเติมหัวเชื้อในขั้นตอนของการหมัก ตลอดจนถึงในการเก็บรักษาและจำหน่ายให้แก่ผู้บริโภค

1. ประเภทของโยเกิร์ต

โยเกิร์ตสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภทด้วยกัน แล้วแต่ว่าจะแบ่งตามหลักเกณฑ์อะไร กล่าวคือหากแบ่งประเภทของโยเกิร์ตตามมาตรฐานกฎหมาย หรือตามปริมาณไขมันในโยเกิร์ต จะสามารถแบ่งโยเกิร์ตออกได้เป็นโยเกิร์ตไขมันสูง โยเกิร์ตไขมันปานกลางและโยเกิร์ตไขมันต่ำ โดยกำหนดให้มีปริมาณไขมันเท่ากับ 3.0, 3.0-0.5 และต่ำกว่า 0.5% ตามลำดับ นอกจากนี้โยเกิร์ตสามารถแบ่งตามกรรมวิธีการผลิตออกเป็นโยเกิร์ตชนิดเซต (set yoghurt) และโยเกิร์ตชนิดกวน (stirred yoghurt) โยเกิร์ตชนิดเซตเป็นโยเกิร์ตที่บรรจุทันทีหลังจากมีการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ โปรตีนในนมจะเกิดการจับตัวเป็นก้อนในขณะที่อยู่ในภาชนะบรรจุ เมื่อทำการหมักได้เวลาตามต้องการแล้ว ก็ทำให้เย็นและพร้อมที่จะจำหน่ายให้กับผู้บริโภคทันที ส่วนโยเกิร์ตชนิดกวนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักนมด้วยหัวเชื้อจุลินทรีย์ในถังจนได้ที่ จากนั้นจึงนำเอาโยเกิร์ตที่ได้มาทำการคนให้แตกหรือแยกกันก่อนที่จะทำให้เย็น แล้วบรรจุเพื่อจำหน่ายให้กับผู้บริโภคต่อไป นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งได้ตามการเติมกลิ่นรสและ/หรือผลไม้และ/หรือสารให้ความหวานได้ด้วย โดยโยเกิร์ตที่ได้ถ้าหากว่าไม่มีการเติมกลิ่นรสและ/หรือผลไม้และ/หรือสารให้ความหวานลงไปจะเรียกว่าเป็นโยเกิร์ตชนิดธรรมชาติ (plain/natural yoghurt)

2. กระบวนการผลิตโยเกิร์ต

วิธีการผลิตโยเกิร์ตโดยทั่วไปประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การเตรียมน้ำนมสด ได้แก่ การปรับปริมาณของแข็ง ซึ่งเป็นของแข็งที่ไม่ใช่ไขมัน (solid non-fat; SNF) เพื่อช่วยให้ได้โยเกิร์ตที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและกลิ่นรสที่ดีตามต้องการ ควรปรับให้น้ำนมมีปริมาณของแข็ง 14-16% ซึ่งสามารถทำได้โดยวิธีการต่างๆกัน ได้แก่ การต้มที่อุณหภูมิ 60-80 °C เพื่อลดปริมาณของนมลงประมาณ 2 ใน 3 ของปริมาตรเริ่มต้น การเติมนมผง อาจเป็นนมผงที่มีไขมันตามปกติหรือนมผงที่ปราศจากไขมัน โดยทั่วไปจะเติมประมาณ 3-4% การเติมเวย์โปรตีน ซึ่งหากเติมมากเกินไป จะทำให้เกิดรสชาติของเวย์โปรตีนซึ่งไม่เป็นที่ต้องการ การเติมเคซีน ซึ่งการเติมเคซีนจะเป็นการเพิ่มทั้งปริมาณโปรตีนและความหนืดให้แก่โยเกิร์ตที่ได้ การใช้เทคโนโลยีเมมเบรนพวกรีเวิร์สออสโมซิส (reverse osmosis, RO) และอัลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration, UF) การเติมสารที่ช่วยเพิ่มความคงตัว (stabilizers) เพื่อให้ลักษณะเฉพาะตัวที่ต้องการในโยเกิร์ต เช่น ลักษณะเนื้อสัมผัส ความหนืด ลักษณะปรากฏโครงสร้างของเคิร์ด (curd) และช่วยลดปัญหาการแยกชั้นของน้ำ (syneresis) เป็นต้น ชนิดของสารที่ช่วยเพิ่มความคงตัวดังกล่าว ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เจลาติน น้ำตาล อัลจิเนต และคาราจีแนน เป็นต้น

- การโฮโมจีไนส์ (homogenization) เป็นการลดขนาดของเม็ดไขมันในน้ำมันให้มีขนาดเล็กลงจนมีขนาดเดียวกันทั้งหมด ช่วยให้ไขมันในน้ำมันมีความคงตัว ไม่แยกตัวออกมาจากน้ำมันหรือโยเกิร์ต

- การฆ่าเชื้อ เป็นการให้ความร้อนในระดับพาสเจอร์ไรส์ ใช้อุณหภูมิประมาณ $70-80^{\circ}\text{C}$ มีจุดประสงค์เพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค หรือจุลินทรีย์อื่นๆ ที่ไม่ต้องการ ผลของความร้อนยังช่วยกำจัดอากาศที่มีในนม ช่วยให้แบคทีเรียกรดแลคติกสามารถเจริญเติบโตได้ดีขึ้น เนื่องจากกิจกรรมของเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติกในสภาวะต้องการอากาศเล็กน้อย นอกจากนี้ยังพบว่า การให้ความร้อนแก่เนมสดยังทำให้การเกิดเจลของโยเกิร์ตในขั้นตอนต่อไปสามารถเกิดได้ดีขึ้นอีกด้วย โดยความร้อนทำให้เกิดการเสียสภาพของเวย์โปรตีน โมเลกุลของเวย์โปรตีนเกิดการยืดออก ช่วยให้โครงสร้างของเจลเกิดได้ดีขึ้น มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

- การทำให้เย็น หลังจากนั้นจึงลดอุณหภูมิลงให้เหลือประมาณ $40-44^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของแบคทีเรียกรดแลคติก

- การเติมแบคทีเรียกรดแลคติก แบคทีเรียกรดแลคติกที่เติมเป็นหัวเชื้อผสมของ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และเชื้อ *Streptococcus thermophilus* มักใช้ในอัตราส่วนที่เท่ากัน เติมน้ำมันประมาณ 2%

- การบ่ม ทำการบ่มที่อุณหภูมิ $40-44^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทำงานของเชื้อ เป็นเวลานาน 4-5 ชั่วโมง จนโปรตีนในนมเกิดการตกตะกอนเป็นก้อน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของโยเกิร์ต เนื่องจากกรดที่จุลินทรีย์สร้างขึ้นมาในระหว่างกระบวนการบ่ม ส่วนใหญ่เป็นกรดแลคติก ซึ่งเกิดจากการที่น้ำตาลแลคโตสในนมถูกเปลี่ยนเป็นกรดแลคติกโดยแบคทีเรียกรดแลคติก นอกจากนี้โปรตีนนมถูกย่อยสลายโดยกระบวนการไฮโดรลิซิสได้เป็นเปปไทด์และกรดอะมิโนอิสระชนิดต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย จุลินทรีย์โยเกิร์ตจะเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีปริมาณ 10^9 โคโลนี/มิลลิลิตร นอกจากนี้ยังพบว่าแบคทีเรียกรดแลคติกบางชนิดสามารถสังเคราะห์วิตามินบีได้เช่น โฟเลต ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อร่างกาย แบคทีเรียกรดแลคติกบางชนิดสามารถผลิตสารโพลีแซคคาไรด์ได้ ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของโยเกิร์ตให้ดีขึ้น และผลจากกระบวนการหมักของแบคทีเรียกรดแลคติกยังช่วยให้เกิดกลิ่นและรสชาติเฉพาะตัวของโยเกิร์ต เช่น จากการสารประกอบพวกพวกอัลดีไฮด์ เป็นต้น

- การทำให้เย็น เมื่อหมักโยเกิร์ตได้ตามต้องการแล้ว นำมาลดอุณหภูมิจนมีอุณหภูมิ 4°C เพื่อควบคุมกิจกรรมของหัวเชื้อโยเกิร์ตและเอนไซม์

- การเติมองค์ประกอบที่ให้กลิ่นรสและสี ได้แก่ ผลไม้ สารให้กลิ่นรส สี และองค์ประกอบอื่นๆ เช่น สารให้ความหวานพวกน้ำตาล กากแฟและถั่วต่างๆ เป็นต้น การเติมผลไม้ที่มีความหวานลงไปในส่วนผสมของโยเกิร์ต เพื่อปรุงแต่งกลิ่นรส และลดความเปรี้ยวของโยเกิร์ต

- การเก็บรักษา ควรเก็บในตู้เย็น จนกว่าจะรับประทาน โดยทั่วไปพบว่าโยเกิร์ตที่จำหน่ายในทางการค้ามีอายุการเก็บรักษาประมาณ 1 เดือน ที่อุณหภูมิ 5°C

3. การเปลี่ยนแปลงระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ต

ในระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่า pH และการเปลี่ยนแปลงอื่น ๆ จากกิจกรรมของเอนไซม์อย่างช้า ๆ ในระหว่างการเก็บรักษา แม้ว่า จะเก็บในตู้เย็นก็ตาม (Walstra และคณะ, 1999) ดังต่อไปนี้คือ

- มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของสารประกอบที่ให้กลิ่นที่ดีของโยเกิร์ต เช่น อะซิตัลดีไฮด์ เอธิลอะซีเตต ไดอะซิติกและเมธานอล โดยปริมาณอะซิตัลดีไฮด์ เอธิลอะซีเตตและไดอะซิติกในโยเกิร์ตนั้นมักจะลดลงเมื่อเวลาการเก็บรักษานานขึ้น อย่างไรก็ตามโยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมวัวจะมีเพียงปริมาณอะซิตัลดีไฮด์เท่านั้นที่ลดลงในระหว่างการเก็บรักษานาน 10 วัน ที่อุณหภูมิ 4 หรือ 10°C ในขณะที่ปริมาณอะซิติกและเมธานอลเพิ่มขึ้น (Tamine และ Robinson, 1999)

- อัตราการย่อยสลายโปรตีนเพิ่มขึ้น (Tamine และ Robinson, 1999) โยเกิร์ตอาจมีรสขมเนื่องจากเกิดการย่อยสลายของโปรตีนมากเกินไป

- ปริมาณกรดทั้งหมดเพิ่มขึ้นในระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ต 5 วันแรก ที่อุณหภูมิ 4 °C หลังจากนั้นจะคงที่ แม้ว่า จะเก็บไว้นานถึง 35 วันก็ตาม (Dave และ Shah, 1997)

- pH ลดลง ตามปกติค่า pH ของน้ำนมวัวมีค่าเท่ากับ 6.55-6.62 จากนั้นจะลดลงเป็น 4.33-4.64 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักโยเกิร์ต และจะค่อยๆ ลดลงอย่างช้าๆ ในระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ตเป็นเวลา 35 วัน ที่อุณหภูมิ 4°C โดยที่เวลาการเก็บรักษา 35 วัน โยเกิร์ตมีค่า pH อยู่ในช่วง 4.16-4.40 (Dave และ Shah, 1997) กล่าวคือโยเกิร์ตจะมีรสเปรี้ยวเพิ่มขึ้นเมื่อบริโภค

- จำนวนแบคทีเรียกรดแลคติกที่รอดชีวิตลดลง พบว่าจำนวนเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* จะมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยระหว่างการเก็บรักษาโยเกิร์ต โดยหลังจากการผลิตโยเกิร์ตที่อุณหภูมิ 43°C เป็นเวลา 3.5-4.0 ชั่วโมง ปริมาณ *Streptococcus thermophilus* จะเพิ่มขึ้นประมาณ 25-38% ระหว่าง

การเก็บรักษา 5 วันแรก ที่อุณหภูมิ 4°C และยังคงมีกิจกรรมอยู่ตลอดช่วงระยะเวลาดังกล่าว แต่หลังจากนั้นจำนวน *Streptococcus thermophilus* ที่รอดชีวิตจะลดลงประมาณ 9.5-61.8% ในช่วงเวลาการเก็บอีก 30 วันที่เหลือ ส่วนจำนวนของ *L. bulgaricus* จะเพิ่มขึ้นจากจำนวนเริ่มต้น $1.20-3.00 \times 10^7$ โคโลนี/มิลลิลิตร ประมาณ 12-22 เท่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการหมักโยเกิร์ต และระหว่างการเก็บรักษาพบว่าจำนวน *L. bulgaricus* ลดลงประมาณ 50% ระหว่างการเก็บรักษา 5 วันแรก ที่อุณหภูมิ 4°C และหลังจากนั้นจะมีปริมาณลดลงอีกเล็กน้อยในช่วง 5 วันถัดไป และอีก 5 วันต่อมาจะมีจำนวนลดลงอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดเมื่อทำการเก็บรักษาครบ 35 วัน พบว่าจำนวนเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* มีจำนวนน้อยกว่า 10^5 โคโลนี/มิลลิลิตร จึงกล่าวได้ว่าจำนวน *Streptococcus thermophilus* ที่รอดชีวิตมีมากกว่า *L. bulgaricus* เนื่องจากจำนวน *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ที่รอดชีวิตมีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็วและลดลงมากกว่า 4 log cycle (Dave และ Shah, 1997)

- เกิดกลิ่นไม่ดี (off-flavors) เนื่องจากการปนเปื้อนของจุลินทรีย์โดยเฉพาะยีสต์และรา จุลินทรีย์ดังกล่าวจะทำให้เกิดกลิ่นยีสต์ กลิ่นผลไม้ กลิ่นอับ กลิ่นหืน กลิ่นเนยหรือรสขม โดยผู้บริโภคจะสามารถรับรู้กลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ได้เมื่อยีสต์และรามีจำนวนประมาณ 10^4 CFU/มิลลิลิตร ขึ้นไป นอกจากนั้นยังพบว่าจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วเมื่อมีออกซิเจนอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ฉะนั้นการบรรจุควรให้มีช่องว่างภายในภาชนะบรรจุให้น้อยที่สุดและวัสดุที่ใช้ทำภาชนะบรรจุควรมีคุณสมบัติให้อากาศผ่านได้น้อย ขอบกพร่องนี้ยังอาจมีสาเหตุจากการใช้อุณหภูมิในการหมักต่ำ หรืออาจเกิดจากนํ้ามดที่ที่ใช้มีการปนเปื้อนของเพนิซิลลินจึงทำให้จุลินทรีย์เริ่มต้นไม่สามารถเจริญเติบโตและผลิตกรดได้ รวมไปถึงอาจเกิดจากนํ้ามดที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ตมีกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์จึงทำให้มีกลิ่นดังกล่าวในผลิตภัณฑ์สุดท้ายก็ได้ (สุมาลี, 2541; Harrigan, 1998; Walstra และคณะ, 1999)

4. ประโยชน์ของโยเกิร์ตต่อสุขภาพ

ประโยชน์ของโยเกิร์ตต่อร่างกายเป็นที่ทราบดีกันมานาน แต่มักเป็นในแง่ของคุณค่าทางโภชนาการ กล่าวคือโยเกิร์ตเป็นแหล่งของโปรตีนที่มีคุณภาพดี แคลเซียม วิตามินบีและสารอาหารอื่นๆ จนกระทั่งเมื่อเร็วๆ นี้ที่พบว่าโยเกิร์ตยังเป็นแหล่งของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพ (probiotics) กล่าวคือแบคทีเรียกรดแลคติกอีกด้วย ดังนั้นในปัจจุบันนี้โยเกิร์ตจึงสามารถจัดเป็นอาหารฟังก์ชัน (functional food) ชนิดหนึ่งซึ่งน่าจับตามอง และควรที่จะทำความรู้จักหรือรู้จักให้มากขึ้น ประโยชน์ของแบคทีเรียกรดแลคติกในโยเกิร์ตต่อสุขภาพมีดังนี้คือ

- ช่วยให้ร่างกายสามารถย่อยน้ำตาลแลคโตสได้ดีขึ้น ตามปกติในน้ำนมมีน้ำตาลแลคโตสประมาณ 6% ในร่างกายของผู้ใหญ่มากกว่า 50% ไม่สามารถสร้างเอนไซม์แลคเตสสำหรับย่อยน้ำตาลแลคโตสได้ บักทีเรียแลคติกในโยเกิร์ต เช่น *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* , *Streptococcus thermophilus* สามารถผลิตเอนไซม์แลคเตส ช่วยย่อยน้ำตาลแลคโตสในนมให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวชนิดกลูโคสและกาแลคโตส หลังจากนั้นน้ำตาลกลูโคสก็จะถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดแลคติก เหมาะสำหรับผู้ที่ปัญหาที่ไม่สามารถย่อยแลคโตสจากการบริโภค น้ำนมธรรมดา ทำให้ท้องเสีย การที่ท้องเสียเกิดเนื่องจากน้ำตาลแลคโตสที่ไม่ย่อย เคลื่อนที่มายังลำไส้ใหญ่ แล้วผ่านการหมักโดยจุลินทรีย์ในลำไส้ใหญ่ ทำให้เกิดกรดไขมันอิสระขนาดเล็กชนิดต่างๆซึ่งจะไปจับตัวกับสารอเล็กโตรไลต์ ส่งผลให้ท้องเสียได้

- ช่วยรักษาอาการท้องเสีย ในลำไส้มนุษย์อุดมด้วยเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดด้วยกัน ซึ่งบางชนิดก็มีประโยชน์ เช่น ช่วยสร้างวิตามินเค แต่บางชนิดก็เป็นโทษ เช่น ทำให้เกิดอาการท้องเสีย เชื้อโรคเหล่านี้จะคั่งค้างกันอยู่ในสภาพสมดุล หากลำไส้ถูกทำให้เสียสมดุล เชื้อแบคทีเรียที่เป็นโทษก็จะทำให้เกิดอาการท้องเสียทันที โดยเฉพาะเชื้อ *E. coli* ที่ทำให้เกิดท้องเสียในเด็กทารก เมื่อทานโยเกิร์ตลงไป จุลินทรีย์ในโยเกิร์ตจะช่วยปรับสมดุลให้กลับคืนมาในเวลาอันรวดเร็ว นอกจากรักษาแล้ว ยังพบว่าโยเกิร์ตยังสามารถป้องกันอาการท้องเดินได้ในเด็กทารกได้อีกด้วย โดยการที่แบคทีเรียแลคติกไปช่วยป้องกันไม่ให้เชื้อโรคไปเกาะติดที่เซลล์ลำไส้ได้ นอกจากนี้ยังสามารถสร้างสารแอนติบอดีไปจับกับสารแอนติเจนที่เชื้อโรคสร้างขึ้นมา ทำให้สารแอนติเจนไม่สามารถผ่านเซลล์ลำไส้ ไปยังกระแสเลือด ช่วยป้องกันการเจ็บป่วยที่เกิดจากเชื้อโรคได้ด้วย เป็นการช่วยเพิ่มระดับภูมิคุ้มกันโรคให้กับมนุษย์ นอกจากนี้เชื้อแบคทีเรียแลคติกยังสามารถสร้างสารฆ่าเชื้อที่มีการทำงานคล้ายกับสารปฏิชีวนะเรียกว่าแบคเทอริโอซิน (bacteriocin) ช่วยเพิ่มภูมิคุ้มกันให้กับลำไส้

- ช่วยรักษาแผลในกระเพาะ โยเกิร์ตอุดมด้วยสารไขมันธรรมชาติที่มีฤทธิ์คล้ายฮอร์โมนที่เรียก พรอสตาแกลนดินอี 2 (prostaglandin E2) ซึ่งทำหน้าที่ช่วยปกป้องผนังกระเพาะ จากสาร กระตุ้นหลายตัว เช่น แอลกอฮอล์และบุหรี่ ปัจจุบันพรอสตาแกลนดินอี 2 สังเคราะห์จำหน่ายเป็น ยารักษาโรคแผลในกระเพาะอาหาร

- ช่วยป้องกันและรักษาการอักเสบที่ช่องคลอด เนื่องจากเชื้อยีสต์ชนิด *Candida vaginitis* โดยพบว่าชนิดของแบคทีเรียแลคติกที่มีบทบาทมากที่สุดคือชนิด *Lactobacillus acidophilus* โรคนี้พบว่าเกิดกับผู้หญิงเกือบ 12 ล้านคนในแต่ละปี ผู้ที่เป็นแล้วก็มักจะเป็นซ้ำได้

อีกเรื่อย ๆ มักเป็นกับผู้ที่ร่างกายอ่อนแอหรือมีภูมิคุ้มกันต่ำ เช่น ผู้ป่วยโรคเบาหวาน สตรีมีครรภ์ ผู้ที่ทานยาปฏิชีวนะ ผู้ที่เป็นโรคอ้วน

- ช่วยระบบการขับถ่าย โดยอาจช่วยทำให้อาหารอยู่ในลำไส้ได้นานขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของแบคทีเรียแลคติกที่ใช้ ตัวอย่างเช่น เชื้อ *Bifidobacterium animalis* ช่วยให้การอาหารเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ได้เร็วขึ้น เป็นการช่วยบรรเทาอาการท้องผูกได้

- อื่นๆ เช่น ช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดมะเร็งบริเวณเนื้อเยื่อกระดูก ช่วยลดระดับโคเลสเตอรอลและไขมันในเลือด ช่วยบำรุงผิวพรรณ ช่วยไม่ให้ฟันผุและโกรธง่าย ดังนั้นการทานโยเกิร์ตที่มีแบคทีเรียแลคติกที่มีประโยชน์ต่อร่างกายเป็นประจำ ย่อมดีกว่าทานแบคทีเรียแลคติกที่อยู่ในรูปของยาเม็ด และย่อมดีกว่าการเจ็บป่วยหรือการรับประทานยาแน่นอน สิ่งที่ต้องระวังคือควรเลือกซื้อเฉพาะโยเกิร์ตที่มีแบคทีเรียแลคติกที่ยังมีชีวิตอยู่ (live yoghurt) เท่านั้น เนื่องจากว่าในบางประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกา ได้อนุญาตให้มีการฆ่าเชื้อโยเกิร์ตได้ ซึ่งทำให้แบคทีเรียแลคติกถูกทำลายไป

จุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตโยเกิร์ต

ลักษณะทั่วไปของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ ย่อมติดสีแกรมบวก ส่วนใหญ่ไม่สร้างสปอร์ รูปร่างเป็นทรงกลมหรือกึ่งแท่งกึ่งกลม ส่วนใหญ่ไม่สร้างเอนไซม์คะตะเลส (catalase) และต้องการคาร์โบไฮเดรตในการเจริญ (บุญจันทร์, 2530) จุลินทรีย์ที่นิยมใช้ในการหมักโยเกิร์ตได้แก่ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* เป็นหัวเชื้อเริ่มต้นในเกือบทุกประเทศ และอาจมีการใช้เชื้อยีสต์ เป็นเชื้อหมักร่วมในผลิตภัณฑ์บางประเภทเพื่อช่วยในด้านคุณภาพ ความคงตัว และคุณค่าทางด้านโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่ดี

1. ลักษณะการเจริญของจุลินทรีย์ในระหว่างการหมักโยเกิร์ต

การเจริญของจุลินทรีย์ในหัวเชื้อโยเกิร์ตมีลักษณะการเจริญที่พึงพากัน คือที่อุณหภูมิการหมัก 40°C เชื้อ *Streptococcus* จะเจริญได้ดีและสร้างไดอะซีทิล (diacetyl) และสารประกอบที่คล้ายกัน ซึ่งมีผลต่อกลิ่นรสของโยเกิร์ต นอกจากนั้นเชื้อ *Streptococcus* ยังช่วยกำจัดออกซิเจนออกจากนม ซึ่งหากเหลืออยู่อาจก่อให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตได้ การเจริญของเชื้อ *Streptococcus* จะดำเนินต่อไปจนกระทั่ง pH เท่ากับ 5.5 จะผลิตสารอาหารที่เหมาะสมสำหรับการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus* เช่น กรดอะมิโน และกรดฟอสฟอริก เป็นต้น ไปช่วยในการเจริญของเชื้อ *Lactobacillus* ให้เจริญต่อจาก *Streptococcus*

ในช่วงหลังของการผลิตโยเกิร์ต เชื้อ *Lactobacillus* มีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตที่ 45°C และให้ปริมาณกรดแลคติกในปริมาณที่มากพอที่จะสร้างอะซิตัลดีไฮด์ (acetaldehyde) ซึ่งให้กลิ่นรสเฉพาะตัวของโยเกิร์ตได้ โยเกิร์ตที่มีกลิ่นรสดีจะมีปริมาณของอะซิตัลดีไฮด์ เท่ากับ 23-41 ส่วนในล้านส่วน คิดเป็น 90% ของสารประกอบที่ให้กลิ่น (volatile flavour compound) ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตาม เชื้อ *Streptococcus* ก็สามารถสร้างสารให้กลิ่นรสพวกอะซิตัลดีไฮด์ ได้เช่นกัน แต่ปริมาณที่ได้จากเชื้อ *Streptococcus* จะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อ *Lactobacillus* (วรารุณี และ รุ่งนภา, 2532)

2. *Lactobacillus* sp.

แบคทีเรียชนิดนี้มีลักษณะเป็นท่อนยาว อาจเป็นเชลล์เดี่ยวหรือติดกันเป็นสาย เป็นพวกที่เติบโตได้ในที่มีออกซิเจนน้อยหรือในที่ไม่มีออกซิเจน ไม่ผลิตเอนไซม์อะไมเลส ดิเอสเทอเรส สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติก อาจเป็นพวกโฮโมเฟอริเมนเตทีฟ (homofermentative) ซึ่งสามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรดแลคติกถึง 80% ที่เหลือเป็นสารอื่นๆ อีกปริมาณเล็กน้อย เช่น กรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์ และสารอื่นๆ ตัวอย่างเชื้อในกลุ่มนี้ได้แก่ *Lactobacillus bulgaricus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus lactis*, *Lactobacillus acidophilus*, และ *Lactobacillus thermophilus* เป็นต้น หรือพวก เฮเทโรเฟอริเมนเตทีฟ (heterofermentative) ซึ่งสามารถเปลี่ยนน้ำตาลเป็นกรดแลคติกได้น้อยกว่า 50% ที่เหลือเป็นพวกแอลกอฮอล์และสารอื่นๆ ตัวอย่างเชื้อในกลุ่มนี้เช่น *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus brevis*, *Lactobacillus buchneri* และ *Lactobacillus trichodes* เป็นต้น *Lactobacillus* บางชนิดทนอุณหภูมิสูงได้ ทำให้สามารถทนอยู่หลังจากการพาสเจอร์ไรส์ หรือการให้ความร้อนแบบอื่นๆ

- *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* คุณลักษณะของเชื้อนี้มีดังนี้คือ มีลักษณะเป็นรูปท่อนผอมๆ มีขนาดปานกลางจนถึงขนาดยาว ในบางครั้งอาจพบลักษณะโค้งงอ บ้าง เชลล์เมื่อแบ่งตัวแล้วจะเกาะกันเป็นสายหรือเป็นคู่ๆ พบได้ในนม แต่แหล่งที่แท้จริงจะมาจากสิ่งแวดล้อมและเครื่องมือเครื่องใช้ในการผลิตนมแล้วปนเปื้อนเข้าสู่นมในภายหลัง เชื้อชนิดนี้สามารถแยกได้จากโยเกิร์ตและเนยแข็งบางชนิด การเตรียมหัวเชื้อเพื่อใช้ในการหมักนมทำได้โดยการเติมเชื้อลงไป ในนมพร้อมมันเนยที่ผ่านความร้อนมาพอสมควร ในนมพร้อมมันเนยที่คั้นรูป หรือในเวย์ ค่อนข้างทนต่อความร้อน อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญประมาณ 45°C และ อุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับการสร้างกรดประมาณ 43-46°C แบคทีเรียชนิดนี้หลายสายพันธุ์สามารถสร้างพอลิแซคคาไรด์ที่มีลักษณะเป็นเส้นสายเล็กๆ สายพอลิแซคคาไรด์เหล่านี้จะยึดตัวออกไปยังกลุ่มก้อนของตะกอนโปรตีน ทำให้โยเกิร์ตมีลักษณะเนื้อเนียนและแน่น *Lactobacillus*

delbrueckii subsp. *bulgaricus* มีกิจกรรมในการย่อยสลายโปรตีนมากกว่า *Streptococcus thermophilus* โดยจะไปทำการปล่อยกรดอะมิโนอิสระออกมามากมาย ซึ่งไปกระตุ้นการเจริญของ *Streptococcus thermophilus* อีกทีหนึ่ง ปริมาณกรดอะมิโนที่ปลดปล่อยออกมานั้นมีมากเกินกว่าที่ *Streptococcus thermophilus* ต้องการในการเจริญ ดังนั้นโยเกิร์ตสุดท้ายจึงมีปริมาณของกรดอะมิโนอิสระเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก อีกทั้งยังมีกรดกลูตามิกในปริมาณมากด้วยเช่นกัน

3. *Streptococcus* sp.

เซลล์ของแบคทีเรียชนิดนี้มีลักษณะกลม อาจเป็นเซลล์เดี่ยว สองเซลล์ หรือหลายเซลล์ ติดกันเป็นสาย ลักษณะการเรียงตัวของเซลล์อาจขึ้นอยู่กับชนิดและสภาวะการเติบโต โดยแบคทีเรียชนิดนี้เป็นไฮโมเฟอร์เมนเตทีฟ ความสำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้ในอาหารคือ อาจพบหลงเหลืออยู่ในน้ำนมได้หลังจากผ่านการพาสเจอร์ไรซ์ เพราะเป็นแบคทีเรียพวกทนอุณหภูมิสูง และเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิกว้างประมาณ 5-50°C อีกทั้งยังสามารถทนเกลือได้ถึง 6.5% หรือสูงกว่าและเติบโตได้ดีที่ pH เท่ากับ 9.6

- *Streptococcus thermophilus* เป็นแบคทีเรียที่พบอยู่ทั่วไปในผลิตภัณฑ์จากนม โดยเฉพาะในโยเกิร์ต ในเนยแข็งหลายชนิดและในสิ่งแวดล้อมที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านี้ โดยรูปร่างลักษณะจะเป็นทรงกลมเกาะกันเป็นคู่ๆ หรือเป็นสายยาว และชอบเจริญในสิ่งแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงถึง 49°C และทนความร้อนได้สูงมาก ดังนั้นจึงสามารถทนอุณหภูมิได้สูงถึง 60°C นาน 30 นาทีซึ่งแตกต่างจากแบคทีเรียในกลุ่ม *Streptococcus* ชนิดอื่นๆ ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า สามารถสร้างกรดได้มากพอที่ทำให้นมตกตะกอนได้ แต่ความสามารถในการทำให้นมเป็นกรดนั้นยังต่ำกว่าแบคทีเรียกรดแลคติกชนิดอื่น เช่น *Lactobacillus* พอสสมควรร *Streptococcus* บางสายพันธุ์สามารถสร้างแคปซูล และเมื่อทำให้มีส่วนทำให้โยเกิร์ตมีเนื้อเรียบและมีความหนืดเพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ชั้นผลไม้ที่เติมลงไปสามารถกระจายตัวได้ดีขึ้น โดยเฉพาะเมื่ออกจะเป็นตัวช่วยทำให้โยเกิร์ตยังคงรักษาความคงตัวของก้อนตะกอนโปรตีน ในน้ำนมระหว่างกระบวนการหมักในช่วงที่สองหรือในระหว่างการเก็บรักษาได้

แคลเซียม

แคลเซียมเป็นแร่ธาตุชนิดหนึ่งที่เป็นส่วนประกอบของร่างกาย โดยเฉพาะเป็นองค์ประกอบสำคัญของกระดูก และฟัน อีกทั้งมีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของร่างกาย โดยในผู้ใหญ่จะมีปริมาณแคลเซียมประมาณ 1.5-2.0% ของน้ำหนักตัว ร่างกายที่ได้รับแคลเซียม

และสารอาหารอื่นๆ ที่เพียงพอจะมีการเจริญเติบโตของกระดูก และฟันอย่างแข็งแรง และเติมที่นอกจากแคลเซียมจะจำเป็นในการสร้างกระดูก และฟันแล้วยังจำเป็นสำหรับการแข็งตัวของเลือด การส่งสัญญาณประสาท การหดตัวของกล้ามเนื้อ และยังป้องกันโรคกระดูกพรุนอีกด้วย

1. ความต้องการแคลเซียมของร่างกาย

ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการในแต่ละวันจะแปรผันไปตามช่วงอายุ เพศ ลักษณะการดำรงชีวิต และในกรณี การตั้งครรภ์หรือการให้นมบุตร เป็นต้น โดยปริมาณแคลเซียมที่ต้องการต่อวันแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณแคลเซียมที่ร่างกายต้องการต่อวัน

อายุ	ปริมาณความต้องการแคลเซียมต่อวัน(มิลลิกรัม)
ทารก	
3 – 5 เดือน	360
6 – 8 เดือน	420
9 – 11 เดือน	480
เด็ก	
1 – 10 ปี	800
11 – 21 ปี	1,200
ผู้ใหญ่ 25 ปีขึ้นไป	800
หญิงตั้งครรภ์ และให้นมบุตร	1,200
หญิงวัยหมดระดู	1,000 – 1,500

ที่มา: นิพล (2541)

2. ปริมาณของแคลเซียมในอาหาร

แคลเซียมเป็นสารอาหารที่มีความสำคัญ เนื่องจากเป็นสารอาหารที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย ส่วนใหญ่อยู่ในกระดูก โดยปกติร่างกายมนุษย์ไม่สามารถสร้างแคลเซียมได้เองจึงจำเป็นต้องบริโภคอาหาร เพื่อให้ได้รับสารอาหารดังกล่าวโดยแคลเซียมพบมากในนม ผลิตภัณฑ์จากนม และปลาที่สามารถเคี้ยวกระดูกได้เป็นต้น ตัวอย่างแหล่งอาหารที่มีปริมาณของแคลเซียมสูงแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ปริมาณของแคลเซียมในอาหารชนิดต่างๆ

อาหาร	มก./100กรัม	อาหาร	มก./100กรัม
กุ้งแห้ง	2,305	ถั่วเขียว,ดิบ	125
ข้าวกล้อง, หอมมะลิ	27	ถั่วดำ,ดิบ	57
ข้าวเจ้า, ปลายข้าว	55	ถั่วลันเตา	171
ข้าวสาลี	42	นมผง	650
ข้าวโพดเหลือง,ดิบ	10	ปลาทู	170
ข้าวโพดเหลือง,ต้ม	11	ผักคะน้า	125
ไข่ไก่	126	มะขาม, ฝักอ่อน	425
งาขาว,ดิบ	86	มันสำปะหลัง	84
งาดำ,ดิบ	1,228	ยอ,ใบ	841
ตำลึง	126	สะเดา, ยอด	354

ที่มา : กองโภชนาการ (2547)

การคัดเลือกชนิดของเกลือแคลเซียม

การคัดเลือกแหล่งของเกลือแคลเซียมที่เหมาะสม สำหรับนำไปใช้ในการเติมลงในอาหาร จะต้องพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ที่เกี่ยวข้องต่อผลิตภัณฑ์ เช่น ค่าการละลาย ปริมาณแคลเซียม รสชาติ และการดูดซึมไปใช้เป็นต้น อีกทั้งเหตุผลทางด้านต้นทุนการผลิต ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณา โดยเกลือแคลเซียมที่ดีในการใช้เสริมในอาหารจะต้องมีค่าการดูดซึมในร่างกายที่สูง และสามารถเพิ่มมวลกระดูกได้ง่าย มีราคาถูก ปลอดภัย และสามารถเข้ากันได้กับอาหารที่นำไปใช้ (Weaver, 1998)

1. ค่าการละลาย และปริมาณแคลเซียม

เมื่อเติมแคลเซียมลงในอาหาร ค่าการละลาย ลักษณะการละลาย และผลต่ออาหาร เป็นปัจจัยหลักที่ต้องนำมาพิจารณา โดยเกลือแคลเซียมที่มีค่าการละลายสูง เช่น แคลเซียมแลคเตต (ค่าการละลาย 66 กรัม/ลิตร) แคลเซียมกลูโคเนต (ค่าการละลาย 35 กรัม/ลิตร) แคลเซียมแลคเตตกลูโคเนต (ค่าการละลาย 400 กรัม/ลิตร) จะสามารถใช้เติมลงในผลิตภัณฑ์ได้ในปริมาณที่มากขึ้น ส่วนเกลือแคลเซียมที่มีปริมาณความเข้มข้นแคลเซียมสูง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมฟอสเฟต (38-40 % แคลเซียม) มีค่าการละลายต่ำ ดังนั้นการเติมในอาหารจึงใช้ได้ ในปริมาณน้อย อีกทั้งยังทำให้เกิดรสชาติขม และเค็มในผลิตภัณฑ์อีกด้วย ดังนั้นการเลือกชนิด

ของเกลือแคลเซียมจึงต้องคำนึงถึงค่าการละลาย และความเข้มข้นของแคลเซียม ในเกลือแคลเซียมที่ต้องการใช้แต่ละชนิด และผลต่ออาหารต่างชนิดกันด้วย

2. รสชาติ และเนื้อสัมผัส

โดยทั่วไปที่ความเข้มข้นของเกลือแคลเซียมสูง แคลเซียมจะอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เนื่องจากเกิดการตกตะกอน ของเกลือแคลเซียม อีกทั้งยังมีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์ โดยคุณลักษณะที่สำคัญของเกลือแคลเซียมทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร แสดงดังตารางที่ 4

3. การดูดซึมของร่างกาย

โดยทั่วไปร่างกายสามารถดูดซึมแคลเซียมจากอาหารไปใช้ได้ประมาณ 10-30% โดยปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการดูดซึมของแคลเซียมขึ้นกับ ชนิดของเกลือแคลเซียมที่ใช้ โดยพบว่าเกลืออินทรีย์ เช่น ไตรแคลเซียมซิเตรท แคลเซียมแลคเตต แคลเซียมแลคเตตกลูโคเนต และแคลเซียมกลูโคเนต จะสามารถถูกร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ดีกว่าเกลืออนินทรีย์ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมฟอสเฟต เป็นต้น

4. ต้นทุนการผลิต และปริมาณการใช้

โดยเกลือแคลเซียมอนินทรีย์จะมีราคาถูกกว่าเกลือแคลเซียมอินทรีย์ และเนื่องจากมีปริมาณความจุของแคลเซียมสูง การใช้เสริมในผลิตภัณฑ์ จึงใช้ในปริมาณที่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เกลือแคลเซียมอินทรีย์

ตารางที่ 4 คุณลักษณะที่สำคัญของเกลือแคลเซียมทั่วไปที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ชนิด	การละลาย	รสชาติ	ความเข้มข้นของแคลเซียม(%)
แคลเซียมคาร์บอเนต	ต่ำ	เปรี้ยว	40
แคลเซียมฟอสเฟต	ต่ำ	จืด	17-38
แคลเซียมซิเตรท	ปานกลาง	เปรี้ยว	21
แคลเซียมแลคเตต	สูง	ไม่เด่นชัด	13
แคลเซียมกลูโคเนต	สูงมาก	ไม่เด่นชัด	9

ที่มา : Weaver (1998)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Meinke และ Holland (1949) ได้ศึกษาผลของแคลเซียม (Ca^{++}) จาก แคลเซียมคลอไรด์ ต่อการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus delbrueckii* 9595 ในสภาวะที่มีการใช้กรดอะมิโน (เซอริน ทรีโอนีน อาร์จีนีน ลิวซีน และ วาลีน) และบัพเฟอร์ (อะซิเตต ซัคซิเนต ซิเตรท) ในระดับที่แตกต่างกันพบว่าแคลเซียมมีผลต่อความสามารถในการใช้เซอรินของ *Lactobacillus delbrueckii* 9595 และแคลเซียมจะช่วยเพิ่มการเจริญเติบโตของ *Lactobacillus delbrueckii* 9595 เมื่อใช้ร่วมกับซิเตรท

Eades และ Womack (1952) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าผลของแคลเซียมโดยใช้แคลเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต แคลเซียมคาร์บอเนต แคลเซียมคลอไรด์ และ แคลเซียมกลูโคเนต ต่อการเติบโตของ *Lactobacillus casei* 7649 พบว่าแคลเซียมทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการเจริญสำหรับ *Lactobacillus casei* 7649 เมื่อทำการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อสังเคราะห์ที่มีการเติมกรดอะมิโนที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง โดยการวัดการเจริญโดยการวัดความขุ่นและปริมาณกรดโดยการไตเตรท นอกจากนั้น แคลเซียมยังช่วยให้ *Lactobacillus casei* 7649 สามารถผลิตกรดได้ดีภายในช่วงระยะเวลาในการหมักที่สั้นลง

Fligner และคณะ (1985) ได้ทำการทดลองเติมแคลเซียมกลูโคเนตลงในตัวอย่างโยเกิร์ตไขมันต่ำธรรมชาติโดยให้มีปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างเท่ากับ 740 มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 240 มิลลิลิตรและ 1,000 มิลลิกรัม/ตัวอย่าง 240 มิลลิลิตร พบว่าการเติมแคลเซียมกลูโคเนตไม่มีผลต่อรสชาติและโครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์ อย่างไรก็ตามจากผลการตรวจวัดค่าความแข็งแรงของเจลโยเกิร์ตพบว่า เจลของโยเกิร์ตที่มีการเติมแคลเซียมกลูโคเนตมีค่าความแข็งแรงของเจลด้อยกว่าในโยเกิร์ตชุดควบคุม โดยค่าความแข็งแรงของเจลที่ลดลงไม่ทำให้ค่าการแยกตัวของน้ำของโยเกิร์ตเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์พบว่าปริมาณค่าการแยกตัวของน้ำของโยเกิร์ตที่มีการเติมแคลเซียมกลูโคเนตมีค่าน้อยกว่าโยเกิร์ตชุดควบคุม อีกทั้งค่าความแข็งแรงของเจลของโยเกิร์ตมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาเป็นเวลา 12 วัน โดยโยเกิร์ตที่มีการเติมแคลเซียมกลูโคเนต มีปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกมากกว่าในโยเกิร์ตชุดควบคุม และค่า pH ของโยเกิร์ตในทุกชุดการทดลองมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

Pirkul และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาค้นคว้าผลของการเติมเกลือแคลเซียม 3 ชนิดลงในโยเกิร์ตที่ผลิตจากนมวัวโดยใช้แคลเซียมแลคเตต แคลเซียมกลูโคเนตและแคลเซียมแลคเตตร่วมกับแคลเซียมกลูโคเนต (อัตราส่วน 1:6) พบว่าการใช้แคลเซียมแลคเตตในปริมาณ 400,

600 และ 800 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร สามารถเพิ่มปริมาณเชื้อ *Lactobacillus* และไม่มีผลต่อปริมาณเชื้อ *Streptococcus* ในโยเกิร์ต และจากการทดสอบทางประสาทสัมผัส ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบด้านเนื้อสัมผัส รสชาติ สีและกลิ่น พบว่าการใช้แคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมแลคเตตร่วมกับแคลเซียมกลูโคเนตได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสที่ดีกว่าการใช้แคลเซียมกลูโคเนตเพียงอย่างเดียวในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต

Yazici และคณะ (1997) ได้ทำการศึกษาคุณลักษณะของโยเกิร์ตที่ผลิตจากนํ้านมถั่วเหลืองที่ทำการเติมแคลเซียมแลคโตกลูโคเนตในปริมาณ 190 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 กรัม ของโยเกิร์ตโดยใช้เชื้อตั้งต้นต่างกัน 2 แบบ คือ YC-180 (ประกอบด้วย *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) และ YC-085 (ประกอบด้วย *Streptococcus thermophilus* , *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus* และ *Bifidobacteria* sp.) พบการเติมแคลเซียมไม่มีผลต่อค่าความยืดหยุ่น (springiness) และการเกาะตัวของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต แต่ทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลลดลง ส่วนปริมาณกรดทั้งหมด และค่าการแยกตัวของน้ำ (syneresis) เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างโยเกิร์ตที่ไม่เติมแคลเซียม โดยโยเกิร์ตที่ผลิตจากเชื้อ YC-180 มีเนื้อสัมผัสที่แข็งกว่าโยเกิร์ตที่ผลิตจากเชื้อ YC-085 การเติมและไม่เติมแคลเซียมไม่มีผลต่อโครงสร้างของโยเกิร์ตที่ผลิตได้เมื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscopy, SEM)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

1. ข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส 5 ชื่อจากตลาดเมืองใหม่ จังหวัดเชียงใหม่
2. นมผงขาดมันเนย ตรามิชชั่น
3. น้ำตาลทรายขาว ตรามิตรผล
4. เจลาติน ชื่อจากบริษัทโอวี เคมิคัล แอนด์ ซัพพลาย จังหวัดเชียงใหม่
5. เกลือแคลเซียมแลคเตต และเกลือแคลเซียมกลูโคเนต ยี่ห้อ Purac ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัทฟู๊ด อินเกรเดียนส์ เทคโนโลยี จำกัด กรุงเทพฯ
6. เชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ต (YC-350, CHR HANSEN) ชื่อจากบริษัทอีสท์ เอเชียติกส์ จำกัด กรุงเทพฯ

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี (JukiTri-stimulus colorimeter model JC 801, Japan)
2. เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscosimeter model DV III, U.S.A)
3. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Sorvall model RC-5C PLUS, U.S.A)
4. เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Atago Japan)
5. เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (Terkielmer model 4003 DV, U.S.A)
6. เครื่องปั่นแยกกาก (Moulinex, Malaysia)
7. เครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่งและ 4 ตำแหน่ง (Sartorius, Germany)
8. เครื่องวัด pH (Metrohm model 744, Switzerland)
9. หม้อนึ่งความดัน (Hirayama : model HV-50, Japan)
10. ตู้อบลมร้อน (Termaks, model TS 8136, Germany)
11. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, U.S.A)
12. ตู้บ่มเพาะเชื้อ (Termaks : model B8000, Norway)
13. เตาเผาแก๊ส

14. อุปกรณ์เครื่องครัวต่างๆ

15. อุปกรณ์เครื่องแก้วต่างๆ

วิธีการทดลอง

1. การศึกษาผลของการเติมเกลือแคลเซียมแลคเตต และแคลเซียมกลูโคเนตต่อ กระบวน การหมักโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพด

1.1 การเตรียมนํ้านมข้าวโพด

นำข้าวโพดมาแกะเปลือกและลอกไหมออก ล้างทำความสะอาด ฝานเนื้อข้าวโพดออก จากนั้นนำเนื้อข้าวโพดที่ได้ไปสกัดนํ้านมข้าวโพดด้วยเครื่องปั่นแยกกาก ทำการกรองนํ้านมข้าวโพดด้วยผ้าขาวบาง 2 ครั้ง เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีตะกอนของกากข้าวโพดเหลืออยู่ หลังจากนั้นทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด โดยปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในนํ้านมข้าวโพดก่อนการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าประมาณ $12-14^{\circ}\text{Brix}$ ทำการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในนํ้านมข้าวโพดโดยการเติมนํ้า ทำการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้มีค่าเท่ากับ 10°Brix โดยใช้หลักการ Pearson's square เพื่อควบคุมให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้นมีค่าเท่ากัน ในทุกการทดลอง

1.2 การเตรียมนโยเกิร์ตนํ้านมข้าวโพด

ทำการเตรียมนํ้าสะอาด ผสมลงในนํ้านมข้าวโพดที่ได้จากข้อ 1.1 ในอัตราส่วน 2:1 (นํ้านมข้าวโพด:นํ้า) หลังจากนั้นเติมนมผงขาดมันเนย 7.5% น้ำตาลซูโครส 7.0% และเจลาติน 0.4% (นํ้าหนัก/ปริมาตร) โดยนำเจลาตินไปละลายกับนํ้าเย็นก่อน เพื่อช่วยให้การละลายดีขึ้น จากนั้นจึงนำมาผสมกับส่วนผสมอื่นภายหลัง ทำการวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด และทำการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดให้มีค่าเท่ากับ 16°Brix โดยใช้หลักการ Pearson's square เพื่อควบคุมให้ปริมาณของแข็งที่ละลายได้เริ่มต้นมีค่าเท่ากันในทุกการทดลอง หลังจากนั้นนำส่วนผสมที่ได้ไปทำการฆ่าเชื้อในระดับพาสเจอร์ไรเซชัน โดยการเขย่าอ่างนํ้าควบคุมอุณหภูมิให้นํ้านมข้าวโพดมีอุณหภูมิเท่ากับ 85°C เป็นเวลานาน 15 นาที และนำไปแช่ในอ่างนํ้าผสมนํ้าแข็งทันทีเพื่อลดอุณหภูมิให้เหลือประมาณ 42°C (จิรากร, 2546) ทำการเติมเกลือแคลเซียมแลคเตตหรือแคลเซียมกลูโคเนต โดยให้มีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 60, 90 และ 120 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร โดยมีตัวอย่างที่ไม่เติมแคลเซียมเป็นตัวอย่างควบคุม ซึ่งในการทดลอง

ตอนนี้จะใช้เฉพาะแคลเซียมแลกเตตและแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายในทางการค้า ทำการกวนผสมให้เข้ากันดี หลังจากนั้นจึงทำการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตจำนวน 0.3 กรัมต่อน้ำนมข้าวโพด 1 ลิตร ทำ กวนผสมให้เข้ากันดี ทำการบ่มที่อุณหภูมิ $42 \pm 1^{\circ}\text{C}$ ทำการเก็บตัวอย่างเมื่อทำการบ่มนาน 0, 2, 4, 6 และ 8 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่ได้มาทำการวัดค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) เพื่อติดตามกระบวนการหมักโยเกิร์ต

2. การเตรียมแคลเซียมแลกเตตและแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่

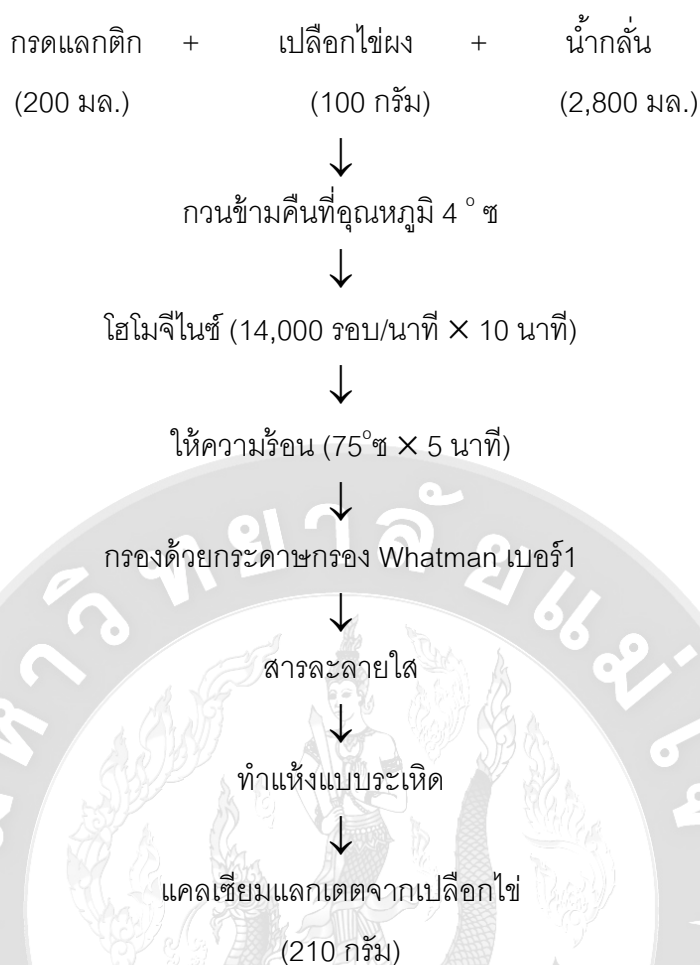
วิธีการเตรียมแคลเซียมแลกเตตและแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่สามารถทำได้ดังนี้

2.1 การเตรียมเปลือกไข่ผง

วิธีการผลิตเปลือกไข่ผงเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดแคลเซียมในขั้นตอนต่อไปมีวิธีการทำดังต่อไปนี้คือ นำเอาเปลือกไข่มาทำการล้างด้วยน้ำสะอาด แยกเอาส่วนของเยื่อเปลือกไข่ (shell membrane) และสิ่งสกปรกต่างๆออกไป ทำการสะอาดน้ำแล้วนำไปอบให้แห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 37°C จนกระทั่งเปลือกไข่แห้งสนิท แล้วนำมาบดเป็นผงละเอียดโดยใช้เครื่องบด ก็จะได้เปลือกไข่ผงตามต้องการ (Daengprok และคณะ, 2002)

2.2 การเตรียมแคลเซียมแลกเตตจากเปลือกไข่ผง

ทำการเตรียมแคลเซียมแลกเตตเปลือกไข่ผงโดยการนำมาทำปฏิกิริยาด้วยกรดแลคติก ซึ่งสามารถเตรียมได้ดังนี้คือ ทำการละลายเปลือกไข่ผงจำนวน 100 กรัม ในกรดแลคติกจำนวน 200 มิลลิลิตร และน้ำกลั่น 2,800 มิลลิลิตร (สัดส่วนของเปลือกไข่ผงต่อกรดแลคติกได้จากการคำนวณจากสมการเคมีคือ แคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่ผงจำนวน 1 โมลจะสามารถทำปฏิกิริยาพอดีกับกรดแลคติกจำนวน 2 โมล และกำหนดให้ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกไข่ผงเท่ากับ 90% และความเข้มข้นของกรดแลคติกที่ใช้คือ 88.1%) แล้วทำการกวนข้ามคืนที่อุณหภูมิ 4°C เพื่อให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ นำเอาสารผสมที่ได้ไปโฮโมจีไนส์ที่ความเร็วรอบเท่ากับ 14,000 รอบต่อนาที นาน 10 นาที ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนที่ 75°C นาน 5 นาที เพื่อให้เกลือแคลเซียมสามารถละลายได้ดี กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 แล้วนำสารละลายที่ได้จากการกรองไปทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบระเหิด (Freeze-drying) ก็จะได้แคลเซียมแลกเตตจากเปลือกไข่ตามต้องการ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 วิธีการเตรียมแคลเซียมแลกเตตจากเปลือกไข่

2.3 การเตรียมแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่ผง

เตรียมในทำนองเดียวกันกับการเตรียมแคลเซียมแลกเตต (1.2) แต่ใช้กรดกลูโคนิกแทนกรดแลกติก

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

ทำการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในเกลือแคลเซียมแลกเตตและแคลเซียมกลูโคเนตโดยวิธีการไตเตรทตามวิธีของ Committee of Food Chemical Codex (1996) โดยนำตัวอย่างเกลือแคลเซียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน (ประมาณ 0.35 กรัม) ทำการไตเตรทด้วย 0.05M Disodium EDTA โดยใช้ hydroxynaphthol blue เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเป็นสีน้ำเงิน

2.5 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

ทำตามวิธีของ Committee of Food Chemical Codex (1996) โดยการนำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนไปทำการอบที่อุณหภูมิ 105°C นาน 3 ชั่วโมงหรือจนแห้งสนิท แล้วคำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักของตัวอย่างที่หายไป

3. การศึกษาผลของการเติมเกลือแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตต่อคุณภาพของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพด

เตรียมตัวอย่างโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเช่นเดียวกับวิธีการทดลองในข้อ 1.2 แต่ทำการเติมเกลือแคลเซียมแลคเตตหรือแคลเซียมกลูโคเนตในปริมาณที่เหมาะสม โดยทำการวิเคราะห์จากค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) ตามผลการทดลองที่ได้จากข้อ 1.2 โดยมีตัวอย่างที่ไม่เติมแคลเซียมเป็นตัวอย่างควบคุม ทำการบ่มที่อุณหภูมิ $42\pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลานาน 8 ชั่วโมง นำตัวอย่างโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดที่ได้ทั้งหมดไปเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C ทำการสุ่มตัวอย่างมาทำการวิเคราะห์คุณภาพในด้านต่างๆของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดที่ได้ ส่วนปริมาณเชื้อจุลินทรีย์จะทำการวิเคราะห์เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วันด้วย

3.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด

โดยการวัดด้วยเครื่อง hand refractometer รายงานค่าเป็นค่า $^{\circ}\text{Brix}$

3.2 ค่า pH

โดยการวัดด้วยเครื่องวัด pH

3.3 ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก)

โดยทำการไตเตรตกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 M โดยใช้ 1% ฟีนอล์ฟธาเลอิน เป็นอินดิเคเตอร์ จุดยุติเป็นสีชมพู (AOAC, 2000)

3.4 ปริมาณแคลเซียม

โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry วิธีการเตรียมตัวอย่างสามารถทำได้โดยใส่ตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ประมาณ 1 กรัม) ลงในถ้วยครุชีเบล นำไประเหยน้ำออกบนอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แล้วเผาบน hot plate ในตู้ดูดควันจนหมดควัน แล้วเผาต่อในเตาเผาเถ้าจนได้เถ้าขาว ทำการละลายเถ้าด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 1% ทำการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AOAC, 2000)

3.5 ค่าสี

โดยการวัดด้วยเครื่องวัดสี โดยใช้ illuminant D65 รายงานผลออกมาเป็นค่า L^* , a^* , b^* โดยค่า L^* หมายถึงค่าความสว่างมีค่าตั้งแต่ 0-100 (มืด-สว่าง) ค่า a^* หมายถึงค่าสีแดง ถ้ามีค่า + คือสีแดง ถ้ามีค่า - คือสีเขียว ส่วนค่า b^* หมายถึงค่าสีเหลือง ถ้ามีค่า + คือสีเหลือง ถ้ามีค่า - คือสีน้ำเงิน ทำการ calibrate เครื่องด้วยแผ่นเทียบสีมาตรฐานสีขาวและสีดำ

3.6 ค่าการแยกตัวของน้ำ (syneresis)

ซึ่งตัวอย่างประมาณ 30 กรัมปั่นที่ก้นน้ำหนักที่แน่นนอนใส่ในหลอดหมุนเหวี่ยง (centrifuge tube) ทำการหมุนเหวี่ยงด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบเท่ากับ 2,300 รอบ/นาที เป็นเวลานาน 10 นาที ใช้หลอดหยดดูดน้ำส่วนใส (supernatant) แล้วทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นนอนคำนวณ %การแยกตัวของน้ำ เปรียบเทียบกับน้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (ดัดแปลงจากวิธีของ Vivar-Quintana และคณะ, 1997)

3.7 ความหนืด

นำตัวอย่างโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดมาทำการวัดความหนืด โดยใช้เครื่องวัดความหนืด (Brookfield Viscosimeter) โดยใช้หัววัดเบอร์ 3 (LV3) ใช้ค่าแรงเฉือนที่ 10 รอบ/นาที เป็นเวลานาน 90 วินาที ค่าความหนืดที่ได้หน่วยเป็นเซนติพอยส์

3.8 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

ทำการทดสอบการยอมรับโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่มีความคุ้นเคยกับผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต จำนวน 60 คน ซึ่งเป็นนักศึกษาคณะ วิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร และนักศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ โดยวิธี 9-point hedonic scale กำหนดให้คะแนน 1 หมายถึง ไม่ยอมรับมากที่สุด และคะแนน 9 หมายถึง ยอมรับมากที่สุด คุณลักษณะที่ทดสอบมีดังนี้คือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม บรรจุตัวอย่างจำนวนประมาณ 30 มิลลิลิตรในถ้วยพลาสติกสีขาวพร้อมซองดักพลาสติกสีขาว ใ้รหัสตัวอย่างเป็นเลขสุ่ม 3 หลัก ทำการเสิร์ฟตัวอย่างที่อุณหภูมิที่ใช้ในการรับประทานโยเกิร์ตตามปกติ

3.9 ปริมาณเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Bulgaricus*

ทำตามวิธีของ Kristo และคณะ (2003) โดยการชั่งตัวอย่างจำนวน 10 กรัม เจือจางด้วยสารละลายเปปโตน 0.1% จำนวน 90 มิลลิลิตร และทำการเจือจางแบบ serial dilution จนมีความเจือจางตามต้องการ ปิเปตตัวอย่างที่แต่ละค่าความเจือจางมาจำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ ทำการเพาะเชื้อโดยวิธี pour plate โดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป MRS ทำการควบคุมให้อยู่ในสภาวะปราศจากอากาศโดยใช้อาหารสำเร็จรูปชนิด MRS Agar ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เทบนหน้าวุ้นที่แข็งแล้ว ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 °C นาน 24 ชั่วโมง ทำการนับจำนวน

โคโลนีที่ขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วรายงานผลเป็นจำนวนโคโลนีต่อโยเกิร์ต นำนมข้าวโพด 1 มิลลิลิตร

3.10 ปริมาณเชื้อ *Streptococcus thermophilus*

ทำตามวิธีของ Kristo และคณะ (2003) เช่นเดียวกับข้อ 3.9 แต่ใช้ อาหารเลี้ยงเชื้อ สำเร็จรูปชนิด M-17 Agar และไม่ต้องมีการเทอาหารเลี้ยงเชื้อทับหน้าวุ้นที่แข็งแล้ว ทำการบ่มที่ อุณหภูมิ 37°C นาน 24 ชั่วโมง ทำการนับจำนวนโคโลนีที่ขึ้นบนอาหารเลี้ยงเชื้อ แล้วรายงานผล เป็นจำนวนโคโลนีต่อโยเกิร์ต นำนมข้าวโพด 1 มิลลิลิตร

4. การวางแผนการทดลอง และวิเคราะห์ข้อมูล

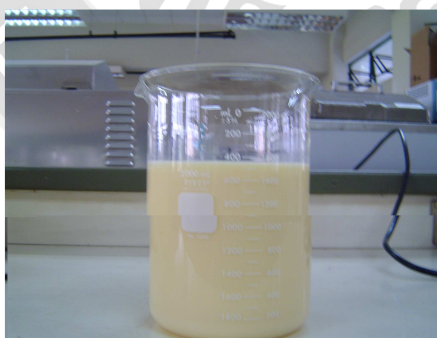
วางแผนการทดลองในแผนการทดลองแบบบล็อกกลุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design :CRD) ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน (two way ANOVA) และทำการ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan' s New Multiple Ranges Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.0 สำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัส ทำการวางแผนการทดลองสำหรับการทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบบล็อกกลุ่มทดลอง (Randomized Complete Block Design : RCBD) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan' s New Multiple Ranges Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 11.0

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1. ผลของแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตต่อกระบวนการหมักโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด

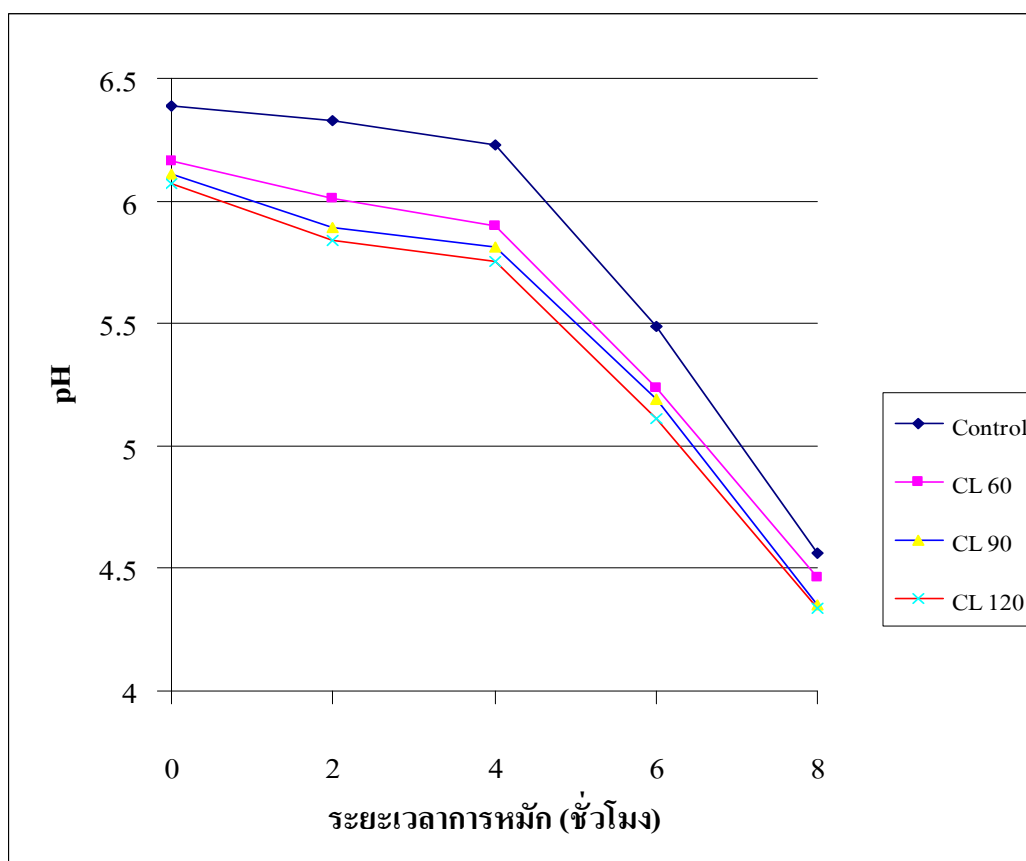
จากการเตรียมน้ำนมข้าวโพด โดยการนำเมล็ดข้าวโพดพันธุ์เอทีเอส 5 มาสกัดน้ำนมข้าวโพดด้วยเครื่องปั่นแยกกาก และทำการกรองด้วยผ้าขาวบาง 2 ครั้ง จะได้น้ำนมข้าวโพดที่มีสีเหลืองขุ่น รสหวานโดยมีลักษณะดังภาพที่ 2 น้ำนมข้าวโพดที่ได้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดประมาณ 12–14°Brix โดยทั่วไปปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำนมข้าวโพดจะมีความแตกต่างกันตามช่วงฤดูการปลูก โดยข้าวโพดหวานเป็นพืชที่ต้องการสภาพอบอุ่น และอุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อการเจริญ และผลผลิตโดยที่อุณหภูมิสูงอัตราการเปลี่ยนน้ำตาลภายในเมล็ดไปเป็นแป้งจะสูงซึ่งทำให้ความหวานลดลงได้ อีกทั้งสภาวะการเก็บรักษายหลังการเก็บเกี่ยวยังเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อคุณภาพของข้าวโพด โดยพบว่าสภาวะการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 30°C จะทำให้มีการสูญเสียน้ำตาลถึง 60% ต่อวัน (นิพนธ์, ม.ป.ป.) ดังนั้นเพื่อควบคุมคุณภาพของน้ำนมข้าวโพดจึงทำการปรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดในน้ำนมข้าวโพดเท่ากับ 10°Brix ก่อนการผลิตโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทุกครั้ง



ภาพที่ 2 ลักษณะของน้ำนมข้าวโพดจากข้าวโพดหวานพันธุ์เอทีเอส 5

1.1 ผลของเกลือแคลเซียมแลคเตตต่อค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก)

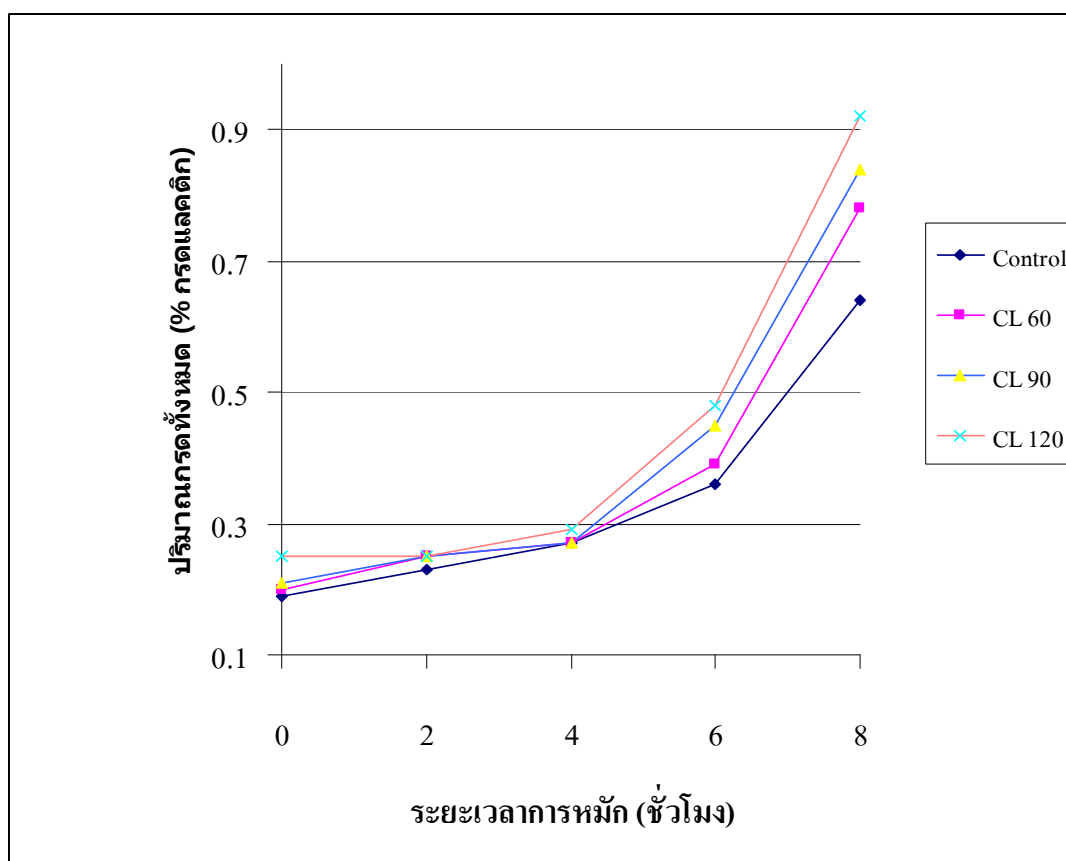
ผลของการเติมแคลเซียมจากเกลือแคลเซียมแลคเตตลงในโยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดโดยใช้ปริมาณแคลเซียมแตกต่างกัน 4 ระดับคือ 0 (ตัวอย่างควบคุม), 60, 90 และ 120 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ต่อค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 8 ชั่วโมงได้ผลการทดลองดัง ภาพที่ 3 และ 4 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า การเติมแคลเซียม แลคเตตลงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดมีผลทำให้ค่า pH ลดลง และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม โดยการเติมแคลเซียมแลคเตตที่ระดับ 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร ทำให้ได้ค่า pH ของโยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดเมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไป 8 ชั่วโมงเท่ากับ 4.46, 4.35 และ 4.35 ตามลำดับโดยมีค่า pH ของโยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดในตัวอย่างควบคุมมีค่าเท่ากับ 4.62 และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.78, 0.83 และ 0.91% ตามลำดับ โดยในตัวอย่างควบคุมมีปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) เท่ากับ 0.64 การเติมแคลเซียมแลคเตตลงในโยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดส่งผลให้ค่า pH ของโยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดในระหว่างการหมักลดลง แต่การใช้ปริมาณแคลเซียมแลคเตตที่ระดับ 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร พบว่าค่า pH ของโยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดไม่แตกต่างกัน การเติมแคลเซียม แลคเตตลงในโยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดทำให้ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการหมักเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม อีกทั้งการใช้ปริมาณแคลเซียมแลคเตตที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) ของโยเกิร์ตหน้าน้ำนมข้าวโพดในระหว่างการหมักเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Yazici และคณะ (1997) ได้ทำการผลิตโยเกิร์ตเสริมแคลเซียมโดยทำการเติมแคลเซียมแลคโตลูโคเนตในโยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมถั่วเหลืองในปริมาณ 190 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 กรัม พบว่าการเติมแคลเซียมส่งผลให้ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %ของกรดแลคติก) ของโยเกิร์ตที่ผลิตจากน้ำนมถั่วเหลืองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมเกลือแคลเซียม



หมายเหตุ Control หมายถึง ตัวอย่างชุดควบคุม

CL 60, CL 90 และ CL 120 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการเติมแคลเซียมแลคเตต 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ภาพที่ 3 ค่า pH ในระหว่างกระบวนการหมัก 0 ถึง 8 ชั่วโมงของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ทำการเติมแคลเซียมแลคเตต



หมายเหตุ Control หมายถึง ตัวอย่างชุดควบคุม

CL 60, CL 90 และ CL 120 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการเติมแคลเซียมแลคเตต 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

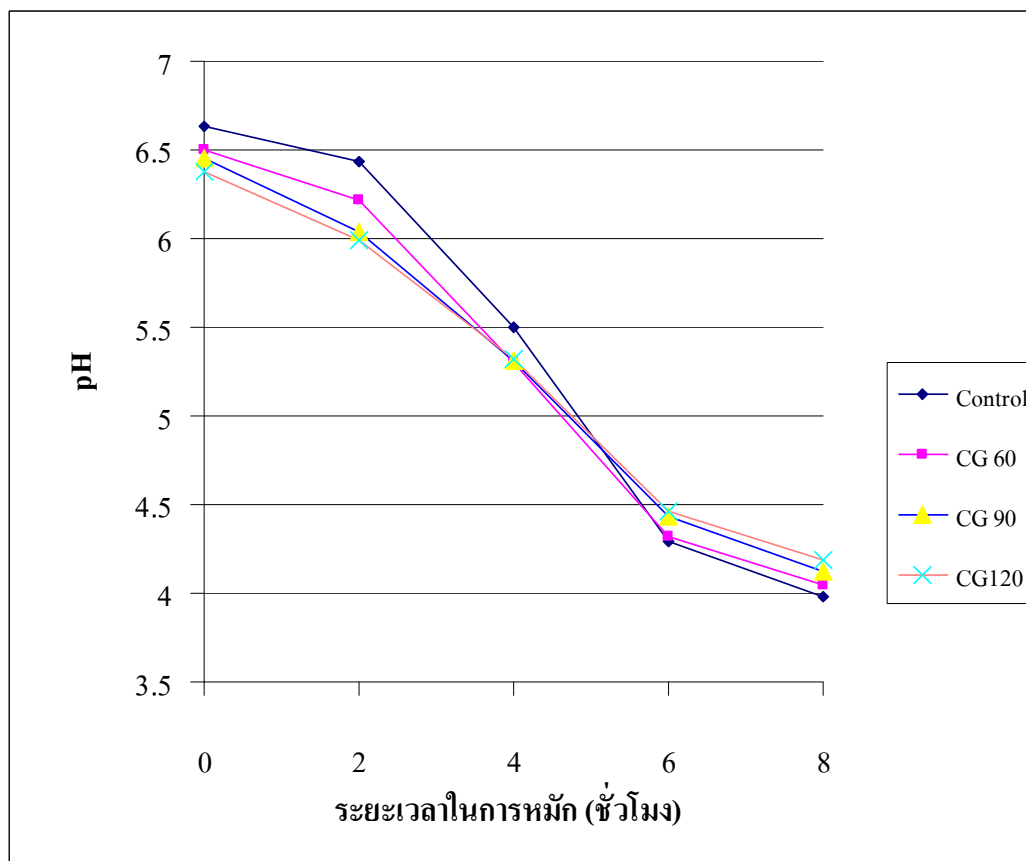
ภาพที่ 4 ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) ในระหว่างกระบวนการหมัก 0 ถึง 8 ชั่วโมงของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ทำการเติมแคลเซียมแลคเตต

1.2 ผลของเกลือแคลเซียมกลูโคเนตต่อค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก)

การศึกษาผลของเกลือแคลเซียมกลูโคเนตต่อกระบวนการหมักโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด โดยทำการวิเคราะห์จากค่า pH และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) โดยใช้ระยะเวลาในการหมัก 8 ชั่วโมงได้ผลดังภาพที่ 5 และ 6 ตามลำดับ พบว่าการเติมแคลเซียมกลูโคเนตลงในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดมีผลต่อค่า pH ของโยเกิร์ตที่ลดลงในระหว่างกระบวนการหมัก แต่อย่างไรก็ตามไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) ที่เพิ่มขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก โดยในตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่เติมแคลเซียม

กลูโคเนต ที่ระดับ 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียม/ 100 มิลลิลิตร มีค่า pH ของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเมื่อระยะเวลาในการหมักผ่านไป 8 ชั่วโมงเท่ากับ 3.98, 4.05, 4.12 และ 4.19 ตามลำดับ และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) มีค่าเท่ากับ 1.14, 1.14, 1.17 และ 1.12 % ตามลำดับ การเติมแคลเซียมกลูโคเนตมีผลต่อค่า pH ของผลิตภัณฑ์ใน ระหว่างกระบวนการหมัก โดยการเติมแคลเซียมกลูโคเนตลงในผลิตภัณฑ์นํานมข้าวโพดมีผลให้ ค่า pH ของผลิตภัณฑ์ในระหว่างกระบวนการหมักสูงกว่าในตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการเติมเกลือ แคลเซียม โดยการเติมแคลเซียมกลูโคเนตในระดับที่สูงขึ้นทำให้ค่า pH ของโยเกิร์ตนํานม ข้าวโพดที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการเติมเกลือแคลเซียมและการใช้ปริมาณแคลเซียมที่ เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) ที่เพิ่มขึ้นในระหว่าง กระบวนการหมัก เมื่อเปรียบเทียบกับกรทดลองในตัวอย่างควบคุม

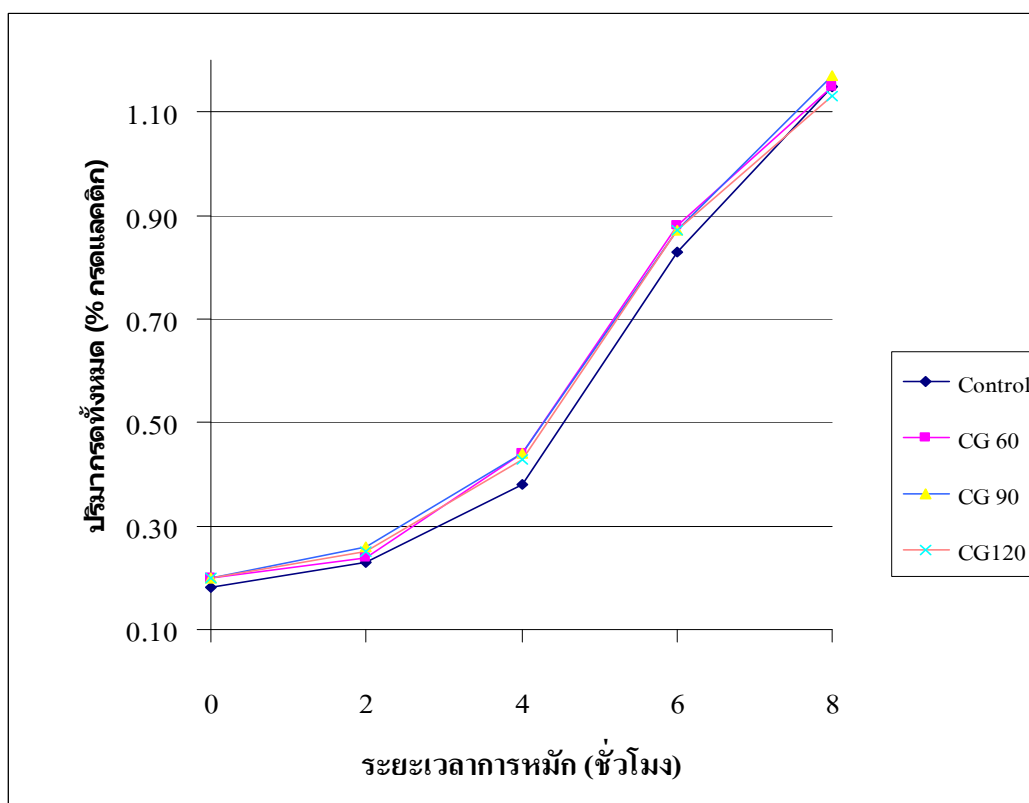




หมายเหตุ Control หมายถึง ตัวอย่างชุดควบคุม

CG 60, CG 90 และ CG 120 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการเติมแคลเซียมกลูโคเนต 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ภาพที่ 5 ค่า pH ในระหว่างกระบวนการหมัก 0 ถึง 8 ชั่วโมงของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ทำการเติมแคลเซียมกลูโคเนต



หมายเหตุ Control หมายถึง ตัวอย่างชุดควบคุม

CG 60, CG 90 และ CG 120 หมายถึง ตัวอย่างที่ทำการเติมแคลเซียมกลูโคเนต 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร ตามลำดับ

ภาพที่ 6 ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) ในระหว่างกระบวนการหมัก 0 ถึง 8 ชั่วโมงของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ทำการเติมแคลเซียมกลูโคเนต

ดังนั้นในการศึกษาในขั้นต่อไปถึงผลของการเติมเกลือแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตต่อคุณภาพของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด จะเลือกใช้แคลเซียมแลคเตตที่ปริมาณ 60 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร และแคลเซียมกลูโคเนตที่ปริมาณ 60 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร เนื่องจากในการเติมเกลือแคลเซียมที่สูงกว่า 60 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร มีผลทำให้เกิดรสฝาดขมในผลิตภัณฑ์ที่ได้

2. คุณสมบัติของแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่

เกลือแคลเซียมแลคเตตและเกลือแคลเซียมกลูโคเนตที่ใช้ในการทดลองไม่ว่าจะเป็นจากเปลือกไข่หรือทางการค้ามีลักษณะเป็นผงสีขาวเหมือนกัน มีกลิ่นรสที่เหมือนกัน (ไม่ได้แสดงข้อมูล) แต่มีความแตกต่างของลักษณะปรากฏบ้างเล็กน้อย อาจเนื่องจากเทคโนโลยีในการผลิตที่ต่างกัน โดยแคลเซียมแลคเตตทางการค้า (CCL) มีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดสีขาว แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ (ECL) มีลักษณะเป็นผงสีขาว แคลเซียมกลูโคเนตทางการค้า (CCG) มีลักษณะเป็นผงฟูสีขาว และแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่ (ECG) มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว มีความมันวาว ดังภาพที่ 7



หมายเหตุ CCL หมายถึง แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้า

ECL หมายถึง แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่

CCG หมายถึง แคลเซียมกลูโคเนตทางการค้า

ECG หมายถึง แคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่

ภาพที่ 7 ลักษณะของเกลือแคลเซียมจากเปลือกไข่เปรียบเทียบกับที่จำหน่ายในทางการค้า

ผลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมและปริมาณความชื้นของแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ พบว่าปริมาณแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 13.74 และ 13.97 กรัม/100 กรัม ส่วนปริมาณของแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่มีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าเท่ากับ 9.20 และ 8.26 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ ส่วนผลของปริมาณความชื้น พบว่าปริมาณความชื้นของแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ มีค่าเท่ากับ 23.41, 4.65, 0.78 และ 6.27 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่มีความชื้นแตกต่างจากที่จำหน่ายในทางการค้า (ตารางที่ 5) ปริมาณความชื้นของแคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่มีค่าต่ำกว่าแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้า อาจเนื่องจากฟอรั่มของเกล็ดแคลเซียมที่แตกต่างกัน โดยเกล็ดแคลเซียมที่จำหน่ายในทางการค้ามักอยู่ในรูปของเพนตะไฮเดรต ส่วนที่ทำการผลิตจากเปลือกไข่ในการทดลองนี้ได้ใช้วิธีการทำแห้งแบบระเหิด (freeze drying) ทำให้ปริมาณน้ำระเหยออกไปจากตัวอย่างได้ดี รวมทั้งน้ำที่อยู่ในผลึกของเกล็ดแคลเซียมด้วย

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่

ชนิดของเกล็ดแคลเซียม	ปริมาณแคลเซียม (กรัม/100 กรัม)	ปริมาณความชื้น (กรัม/100 กรัม)
แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการค้า	13.74	23.41
แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่	13.97	4.65
แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้า	9.20	0.78
แคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่	8.26	6.27

3. ผลของการเติมเกล็ดแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนต 60 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรต่อคุณภาพของโยเกิร์ตหน้านุ่มขาว โปด

ผลของการเติมเกล็ดแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนต 60 มิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตรต่อคุณภาพของโยเกิร์ตหน้านุ่มขาว โปดเป็นดังนี้คือ

3.1 ปริมาณของของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด ($^{\circ}$ Brix)

จากข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณของของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต นำนมข้าวโพดที่มีการเสริมแคลเซียมในปริมาณที่เท่ากันคือ 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ของโยเกิร์ต โดยมีการเติมแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ พบว่าให้ผลปริมาณของของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 6) ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตหลักกล่าวคือนำนมข้าวโพดมีการปรับปริมาณของแข็งที่สามารถละลายได้ให้เท่ากันมาก่อน และมีการเติมส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ นมผงขาดมันเนย น้ำตาลทราย เจลาติน และเชื้อผง ในปริมาณที่เท่ากัน รวมทั้งมีการเติมปริมาณแคลเซียมต่างๆ ในปริมาณที่น้อย จึงทำให้ปริมาณของของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์สุดท้ายไม่แตกต่างกันโดยมีค่าเท่ากับ 15.40-16.00 $^{\circ}$ Brix ซึ่งเป็นปริมาณที่นิยมใช้ในการผลิตโยเกิร์ตโดยทั่วไป

ตารางที่ 6 $^{\circ}$ Brix ของโยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

ตัวอย่างโยเกิร์ต	$^{\circ}$ Brix ^{ns}
ไม่เติมแคลเซียม(ตัวอย่างควบคุม)	15.25
แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการ	15.40
แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่	15.50
แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้า	15.70
แคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่	16.00

หมายเหตุ : ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.2 pH และค่าความเป็นกรดทั้งหมด (คิดเป็น %ของกรดแลคติก)

จากข้อมูลการวิเคราะห์ pH และค่าความเป็นกรดทั้งหมด (คิดเป็น %กรดของแลคติก) ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต นำนมข้าวโพดที่มีการเสริมแคลเซียมในปริมาณที่เท่ากันคือ 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของโยเกิร์ต โดยมีการเติมแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ พบว่าเกลือแคลเซียมทั้ง 4 ชนิดไม่มีผลต่อ pH และค่าความเป็นกรดทั้งหมด (คิดเป็น %ของกรดแลคติก) ($p > 0.05$) โดยมีค่า pH และค่าความเป็นกรดทั้งหมด (คิดเป็น %ของกรดแลคติก) อยู่ในช่วง 4.61-4.71 และ 1.24-1.31 ตามลำดับ (ตารางที่ 7) อาจเนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มโยเกิร์ตเท่ากันคือ 8 ชั่วโมง รวมทั้งมีการเติมเชื้อผงในปริมาณที่เท่ากัน จึงทำให้จุลินทรีย์เจริญ เกิดการสร้างกรดแลคติกในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 7 pH และค่าความเป็นกรดทั้งหมด (%ของกรดแลคติก)ของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

ตัวอย่างโยเกิร์ต	pH ^{ns}	ค่าความเป็นกรดทั้งหมด ^{ns} (%ของกรดแลคติก)
ไม่เติมแคลเซียม(ตัวอย่างควบคุม)	4.61	1.31
แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการค้า	4.71	1.24
แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่	4.63	1.28
แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้า	4.62	1.30
แคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่	4.66	1.30

หมายเหตุ : ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.3 ปริมาณแคลเซียมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม

จากข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่มีการเสริมแคลเซียมในปริมาณที่เท่ากันคือ 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของโยเกิร์ต โดยมีการเติมแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ พบว่าโยเกิร์ตที่ไม่มีการเติมแคลเซียมมีปริมาณแคลเซียม 87.84 มิลลิกรัม/ 100 กรัม (ตารางที่ 8) แต่แคลเซียมจากข้าวโพดจะพบในปริมาณน้อยมาก ดังนั้นแคลเซียมที่ได้มาจากนมผงขาดมันเนยที่มีการเติมลงไป ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต ส่วนในโยเกิร์ตที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการค้า แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้า และแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่ พบว่ามีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 154.30, 133.20, 140.00 และ 137.55 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ตามลำดับ เมื่อหักแคลเซียมจากนมผงขาดมันเนยออกพบว่า มีปริมาณแคลเซียมที่เหลืออยู่ในโยเกิร์ต ในโยเกิร์ตที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการค้า แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้า และแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่เท่ากับ 66.46 ,45.36 ,52.16 และ 49.71 มิลลิกรัม/ 100 กรัม ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณที่ต้องการให้มีแคลเซียมเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์ คือ 60 มิลลิกรัม/ 100 กรัม จากปริมาณแคลเซียมที่มีในโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมทั้ง 4 ตัวอย่างในการทดลองนี้ มีเพียงตัวอย่างน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้าที่สามารถกล่าวได้ว่าเป็นโยเกิร์ตเสริมแคลเซียม เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมสูงกว่าโยเกิร์ตน้ำนมตามปกติไม่น้อยกว่า 10% ของ Thai RDI กล่าวคือมีความแตกต่างกันไม่น้อยกว่า 80 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค อย่างไรก็ตามโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทุกตัวอย่างจัดเป็นแหล่งที่ดีของ

แคลเซียม เนื่องจากมีปริมาณแคลเซียมในปริมาณไม่ต่ำกว่า 10% ของ Thai RDI กล่าวคือไม่น้อยกว่า 80 มิลลิกรัมต่อหนึ่งหน่วยบริโภค (ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 182, 2541)

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณแคลเซียมที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต นำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

ตัวอย่างโยเกิร์ต	ปริมาณแคลเซียม ต่อหนึ่งหน่วยบริโภคของโยเกิร์ต (มก./ 150 กรัม)	ปริมาณแคลเซียมที่แตกต่างกัน ต่อหนึ่งหน่วยบริโภคของโยเกิร์ต (มก./ 150 กรัม)
ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่างควบคุม)	131.76	0
แคลเซียมแลคเตต ที่จำหน่ายในทางการค้า	231.45	99.69
แคลเซียมแลคเตต จากเปลือกไข่	199.80	68.04
แคลเซียมกลูโคเนต ที่จำหน่ายในทางการค้า	210.00	78.24
แคลเซียมกลูโคเนต จากเปลือกไข่	206.33	74.57

3.4 การวิเคราะห์ค่าสี L^* , a^* และ b^*

จากข้อมูลการวิเคราะห์ค่า L^* , a^* และ b^* ในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต นำนมข้าวโพดที่มีการเสริมแคลเซียมในปริมาณที่เท่ากันคือ 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของโยเกิร์ต โดยมีการเติมแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ พบว่าค่า L^* , a^* และ b^* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยมีค่า L^* อยู่ในช่วง 82 ถึง 84 ค่า a^* อยู่ในช่วง -1 ถึง -5 และค่า b^* อยู่ในช่วง 35 ถึง 37 (ตารางที่ 9) ซึ่งค่า b^* เป็น + แสดงถึงความเป็นสีเหลือง ผลที่ได้จากการทดลองดังกล่าว อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบทางด้านสีของนํานมข้าวโพดที่ได้จากแหล่งที่มาของวัตถุดิบจากสายพันธุ์เดียวกัน และมีส่วนประกอบในการผลิตที่มีการระบุปริมาณที่แน่นอน

ตารางที่ 9 ค่า L^* , a^* และ b^* ของโยเกิร์ตหน้านมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

ตัวอย่างโยเกิร์ต	L^{*ns}	a^{*ns}	b^{*ns}
ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่างควบคุม)	83.77	-2.70	35.41
แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้า	84.38	-0.96	35.76
แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่	84.47	-0.88	35.42
แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายในทางการค้า	82.89	-4.69	36.22
แคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่	83.22	-4.63	35.80

หมายเหตุ : ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.5 ปริมาณการแยกชั้นของน้ำ

จากข้อมูลการวิเคราะห์ปริมาณการแยกชั้นของน้ำในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหน้านมข้าวโพดที่มีการเสริมแคลเซียมในปริมาณที่เท่ากันคือ 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของโยเกิร์ต โดยมีการเติมแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ ไม่พบว่าการแยกชั้นของน้ำ (ตารางที่ 10) เนื่องจากมีการเติมสารคงตัว (เจลาติน) ซึ่งเป็นตัวประสานทำให้ไม่เกิดการแยกชั้นของโยเกิร์ตและแคลเซียมที่เติมลงไปโยเกิร์ต ไม่มีผลทำให้เกิดการแยกชั้นของน้ำในโยเกิร์ตหน้านมข้าวโพด

ตารางที่ 10 ปริมาณการแยกชั้นของน้ำของโยเกิร์ตหน้านมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

ตัวอย่างโยเกิร์ต	ค่าการแยกชั้นของน้ำ
ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่างควบคุม)	ไม่พบ
แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้า	ไม่พบ
แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่	ไม่พบ
แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายในทางการค้า	ไม่พบ
แคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่	ไม่พบ

3.6 ความหนืด

จากข้อมูลการวิเคราะห์ความหนืดในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่มีการเสริมแคลเซียม ในปริมาณที่เท่ากันคือ 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของโยเกิร์ต โดยมีการเติมแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ พบว่าค่าความหนืดมีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (ตารางที่ 11) โดยพบว่าโยเกิร์ตที่ไม่มีการเติมแคลเซียม เติมแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ มีค่าความหนืดเท่ากัน กล่าวคือมีค่าเท่ากับ 70.00 poise เท่ากัน ส่วนโยเกิร์ตที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่มีค่าความหนืดลดลง โดยมีค่าเท่ากับ 45.00 และ 47.50 poise ตามลำดับ การที่ค่าความหนืดของโยเกิร์ตที่เติมแคลเซียมกลูโคเนตมีค่าลดลงซึ่งค่าความหนืดที่ลดลง อาจเกิดจากประจุของแคลเซียมจะขัดขวางการจับตัวเป็นร่างแหของเคซีนในโยเกิร์ตซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Joshi และคณะ(2004) ที่กล่าวว่าการเติมแคลเซียมลงใน Mozzarella cheese จะทำให้ความหนืดลดลง สำหรับสาเหตุของการที่เกลือแคลเซียมต่างชนิดกันมีผลต่อความหนืดของโยเกิร์ตแตกต่างกันว่าเป็นเพราะเหตุใดนั้น ยังไม่มีข้อมูลที่แน่ชัด

ตารางที่ 11 ค่าความหนืดของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

ตัวอย่างโยเกิร์ต	ความหนืด (poise)
ไม่เติมแคลเซียม(ตัวอย่างควบคุม)	70.00 ^b
แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้า	45.00 ^a
แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่	47.50 ^a
แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายในทางการค้า	70.00 ^b
แคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่	70.00 ^b

หมายเหตุ : ^a และ ^b แสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าตัวอักษรดังกล่าวแตกต่างกันแสดงว่ามีการแตกต่างในค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

3.7 การทดสอบทางประสาทสัมผัส

จากข้อมูลการวิเคราะห์การทดสอบทางประสาทสัมผัสในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่มีการเสริมแคลเซียมในปริมาณที่เท่ากันคือ 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตรของโยเกิร์ต โดยมีการเติมแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ พบว่า

การยอมรับด้านสี มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโยเกิร์ตที่รับการยอมรับด้านสีมากที่สุดคือ โยเกิร์ตที่เติมแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้า รองมาคือโยเกิร์ตที่เติมแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่ ตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างที่เติมแคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ ตามลำดับ (ตารางที่ 12) และที่ได้รับการยอมรับด้านสีน้อยที่สุดคือโยเกิร์ตที่เติมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการค้า ซึ่งมีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 7.15, 7.10, 7.03, 6.93 และ 6.83 ตามลำดับ ทางด้านกลิ่นพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโยเกิร์ตที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือตัวอย่างควบคุม รองมาคือที่เติมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายทางการค้า ที่เติมแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ และที่ได้รับการยอมรับน้อยที่สุดคือที่เติมแคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ ซึ่งมีคะแนนการยอมรับอยู่ในช่วงยอมรับปานกลาง โดยมีคะแนนเท่ากับ 7.17, 6.97, 6.97, 6.68 และ 6.60 ตามลำดับ เกลีสแคลเซียมแต่ละชนิดตัวจะมีกลิ่นรสเฉพาะตัวที่แตกต่างกันทำให้คะแนนการยอมรับที่ต่ำกว่าตัวอย่างควบคุม ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านความหนืดพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยโยเกิร์ตที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดคือโยเกิร์ตที่เติมแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่ และรองมาคือตัวอย่างควบคุม ที่เติมแคลเซียมกลูโคเนตทางการค้า และที่เติมแลคเตตจากเปลือกไข่ และที่ได้รับการยอมรับน้อยที่สุดคือ ที่เติมแคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ ซึ่งมีคะแนนการยอมรับเท่ากับ 6.65, 6.57, 6.57, 6.27 และ 6.23 ตามลำดับ ส่วนการยอมรับทางด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมพบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ตารางที่ 12 ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร

ตัวอย่างโยเกิร์ต	สี	กลิ่น	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	ความ หนืด	ความชอบ รวม ^{ns}
ไม่เติมแคลเซียม						
(ตัวอย่างควบคุม)	7.03 ^{ab}	7.17 ^b	5.93	6.68	6.57 ^{ab}	6.56
แคลเซียมแลคเตต						
ที่จำหน่าย ในทาง						
การค้า	6.83 ^a	6.97 ^{ab}	5.70	6.69	6.27 ^{ab}	6.43
แคลเซียมแลคเตต						
จากเปลือกไข่	6.93 ^{ab}	6.60 ^a	5.87	6.75	6.23 ^a	6.35
แคลเซียมกลูโคเนต						
ที่จำหน่ายในทาง						
การค้า	7.15 ^b	6.97 ^{ab}	5.72	6.75	6.57 ^{ab}	6.47
แคลเซียมกลูโคเนต						
จากเปลือกไข่	7.10 ^{ab}	6.68 ^{ab}	5.95	6.72	6.65 ^b	6.25

หมายเหตุ : ^{ns} ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

^a และ ^b แสดงค่าเฉลี่ยที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ถ้าตัวอักษรดังกล่าวแตกต่างกันแสดงว่ามีการแตกต่างในค่าเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

ความหมายของคะแนนเป็นดังนี้คือ

- 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
- 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก
- 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
- 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
- 5 หมายถึง เฉย ๆ
- 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย
- 7 หมายถึง ชอบปานกลาง
- 8 หมายถึง ชอบมาก
- 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

3.8 จำนวนเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus*

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ในโยเกิร์ตนมข้าวโพดในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0 และ 7 วัน แสดงดังตารางที่ 13 พบว่าปริมาณของเชื้อทั้ง 2 ชนิดยังคงมีค่าสูงกว่า 10^5 โคโลนี/มิลลิลิตร ในทุกตัวอย่าง ซึ่งมีปริมาณที่สอดคล้องกับมาตรฐานของ IDF (International Dairy Federation, 1988) ที่กำหนดให้มีปริมาณเชื้อแบคทีเรียกรดแลคติก ประมาณ 1×10^6 โคโลนี/กรัม ถึง 5×10^8 โคโลนี/กรัม ตลอดระยะเวลาในการเก็บรักษาและขนส่งโยเกิร์ต

ตารางที่ 13 ปริมาณเชื้อ *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* ของโยเกิร์ตนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร ในระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4°C เป็นระยะเวลา 0 และ 7 วัน ($\times 10^5$ โคโลนี/มิลลิลิตร)

ตัวอย่างโยเกิร์ต	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>		<i>Streptococcus thermophilus</i>	
	0 วัน	7 วัน	0 วัน	7 วัน
ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่างควบคุม)	12.04	10.70	8.56	9.08
แคลเซียมแลคเตต ที่จำหน่าย ในทางการค้า	3.80	5.73	7.73	5.87
แคลเซียมแลคเตต จากเปลือกไข่	4.87	3.35	4.73	4.47
แคลเซียมกลูโคเนต ที่จำหน่ายในทางการค้า	7.10	9.05	5.47	8.50
แคลเซียมกลูโคเนต จากเปลือกไข่	7.65	7.25	4.72	6.25

4. ผลการปรับปรุงคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของโยเกิร์ตน้ำมันข้าวโพดเสริมแคลเซียม

ทำการทดสอบผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำมันข้าวโพดจำนวน 3 ตัวอย่างคือ ตัวอย่างควบคุม ตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้าในปริมาณ 60 มิลลิกรัม แคลเซียม/100 มิลลิลิตร และตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายในทางการค้าในปริมาณ 60 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตรโดยใช้ระยะเวลาในการหมักที่อุณหภูมิ $42 \pm 1^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง โดยมีค่า pH ของตัวอย่างเท่ากับ 4.52, 4.48 และ 4.47 ตามลำดับ จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนการยอมรับแบบ 9 - point hedonic scale (คะแนน 1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด, คะแนน 9 = ยอมรับมากที่สุด) โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 60 คนลักษณะที่ทดสอบคือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ได้ผลดังตารางที่ 14



ตารางที่ 14 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร โดยทำการควบคุมระยะเวลาในการหมักเท่ากับ 8 ชั่วโมง

ตัวอย่างโยเกิร์ต	pH	ลักษณะปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ ^{ns}	เนื้อสัมผัส ^{ns}	การยอมรับรวม ^{ns}
ไม่เติมแคลเซียม							
(ตัวอย่างควบคุม)	4.52	6.83	7.07	6.17	5.63	6.33	6.43
แคลเซียมแลคเตต	4.48	6.93	7.13	6.27	5.67	6.22	6.32
แคลเซียมกลูโคเนต	4.47	6.98	6.97	5.87	5.35	5.97	6.03

หมายเหตุ: เป็นคะแนนเฉลี่ยจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 60 คน

ความหมายของคะแนนเป็นดังนี้คือ

- 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
- 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก
- 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
- 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
- 5 หมายถึง เฉย ๆ
- 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย
- 7 หมายถึง ชอบปานกลาง
- 8 หมายถึง ชอบมาก
- 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

จากตารางที่ 14 พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) การยอมรับในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่างอยู่ในช่วงยอมรับเล็กน้อย ถึง ยอมรับปานกลาง โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏสูงสุดเท่ากับ 6.98 ในตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมกลูโคเนต การยอมรับในด้านสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าอยู่ในช่วง ยอมรับเล็กน้อยถึงยอมรับมาก ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับใน

ด้านสีสูงสุดเท่ากับ 7.13 ในตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตต การยอมรับในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นสูงสุดเท่ากับ 6.27 ในตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตต โดยพบว่า การยอมรับในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่าอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึง ยอมรับปานกลาง ในด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์พบว่าตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตต ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านรสชาติสูงสุดเท่ากับ 5.67 และการยอมรับในด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่าอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึง ยอมรับเล็กน้อย การยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่าอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึง ยอมรับปานกลาง ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสสูงสุดในตัวอย่างควบคุมเท่ากับ 6.33 ด้านการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่าในตัวอย่างควบคุม ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในการยอมรับรวมสูงสุดคือ 6.43 รองลงมาคือตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตต และตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมกลูโคเนต โดยผู้บริโภคนำให้คะแนนการยอมรับในการยอมรับรวมเท่ากับ 6.32 และ 6.03 ตามลำดับโดยค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ในช่วงยอมรับเล็กน้อย ถึง ยอมรับปานกลาง

เนื่องจากพบว่าในการทดสอบทางประสาทสัมผัสข้างต้น ผู้ทดสอบชิมมีข้อเสนอแนะในด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์ โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดธรรมชาติที่ใช้ระยะเวลาในการหมักเป็นเวลา 8 ชั่วโมงโดยโยเกิร์ตทุกตัวอย่างมี pH สุดท้ายต่ำกว่า 4.6 จึงมีความเปรี้ยวสูง อีกทั้งอาจเนื่องมาจากความเคยชินกับการบริโภคโยเกิร์ตที่มีการเติมน้ำเชื่อม ผลไม้ และน้ำผลไม้ จึงทำการทดสอบผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดอีกครั้ง โดยทำการควบคุมค่า pH สุดท้ายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 4.6 โดยในตัวอย่างควบคุมใช้ระยะเวลาในการหมักเท่ากับ 7 ชั่วโมง 30 นาที ในตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตต และตัวอย่างที่เติมแคลเซียมกลูโคเนตปริมาณ 60 มิลลิกรัมแคลเซียม/100 มิลลิลิตร ใช้ระยะเวลาในการหมักเท่ากับ 7 ชั่วโมง 15 นาที จากการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนการยอมรับแบบ 9 - point hedonic scale (คะแนน 1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด, คะแนน 9 = ยอมรับมากที่สุด) ของผลิตภัณฑ์ โดยใช้ผู้ทดสอบชิมจำนวน 60 คน คุณลักษณะที่ทดสอบคือ ลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวม ได้ผลดังตารางที่ 15 โดยพบว่าผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการทดสอบคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น เนื้อสัมผัส และการยอมรับรวมของทุกตัวอย่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) การยอมรับในด้านลักษณะปรากฏของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่างอยู่ในช่วงยอมรับเล็กน้อย ถึง ยอมรับมากโดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านลักษณะปรากฏสูงสุดเท่ากับ 7.15 ในตัวอย่างที่มีการ

เติมแคลเซียมกลูโคเนต การยอมรับในด้านสีของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่าอยู่ในช่วง ยอมรับปานกลาง ถึง ยอมรับมาก ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านสีสูงสุดเท่ากับ 7.15 ในตัวอย่างควบคุม การยอมรับในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่า ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านกลิ่นสูงสุดในตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมกลูโคเนตเท่ากับ 6.70 โดยการยอมรับ ในด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์ทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่าอยู่ในช่วงยอมรับเล็กน้อย ถึง ยอมรับปานกลาง การยอมรับด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่าอยู่ในช่วงเฉยๆ ถึง ยอมรับปานกลาง ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านเนื้อสัมผัสสูงสุดเท่ากับ 6.03 ในตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมกลูโคเนต ด้านการยอมรับรวมของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดทั้ง 3 ตัวอย่างพบว่า ในตัวอย่างที่เติมแคลเซียมกลูโคเนต ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในการยอมรับรวมสูงสุดคือ 6.83 รองลงมาคือตัวอย่างควบคุม และตัวอย่างโยเกิร์ตที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตต โดยผู้บริโภคนำให้คะแนนการยอมรับในการยอมรับรวมเท่ากับ 6.82 และ 6.57 ตามลำดับ โดยค่าการยอมรับของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดอยู่ในช่วงยอมรับเล็กน้อย ถึง ปานกลาง อย่างไรก็ตามจากการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยผู้ทดสอบชิมให้คะแนนการยอมรับในด้านรสชาติสูงสุดในตัวอย่างควบคุมเท่ากับ 6.50 และให้คะแนนการยอมรับในด้านรสชาติต่ำที่สุดเท่ากับ 6.02 ในตัวอย่างที่มีการเติมแคลเซียมแลคเตตเนื่องจากการเติมแคลเซียมมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์มีรสชาติเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามการเติมแคลเซียมกลูโคเนตลงในผลิตภัณฑ์ที่ไม่มีผลต่อรสชาติของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมแคลเซียม ($p > 0.05$) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Fligner *et al.* (1985) ซึ่งได้ทำการเติมแคลเซียมกลูโคเนตลงในตัวอย่างโยเกิร์ตไขมันต่ำรสธรรมชาติ โดยให้มีปริมาณแคลเซียมในตัวอย่างเท่ากับ 308 และ 416 มิลลิกรัม /ตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร ทำการทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน คุณลักษณะที่ทดสอบประกอบด้วย กลิ่นรส ลักษณะปรากฏ และ เนื้อสัมผัสพบว่า การเติมแคลเซียมกลูโคเนตใน ทุกระดับไม่มีผลต่อคุณลักษณะด้านประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างในชุดควบคุม การควบคุมค่า pH สุดท้ายของผลิตภัณฑ์ส่งผลให้ผู้ทดสอบชิมให้คะแนนด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นทั้งในตัวอย่างที่มีการเติม และไม่เติมเกลือแคลเซียมอาจเนื่องมาจากตัวอย่างในการทดสอบชิมครั้งแรกมีค่า pH ต่ำจึงมีความเปรี้ยวสูงซึ่งส่งผลต่อคะแนนด้านรสชาติได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 15 คะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียม 60 มิลลิกรัม/100 กรัม โดยทำการควบคุม pH สุดท้ายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 4.6

ตัวอย่างโยเกิร์ต	เวลา หมัก (ชั่วโมง)	ลักษณะ ปรากฏ ^{ns}	สี ^{ns}	กลิ่น ^{ns}	รสชาติ	เนื้อ สัมผัส ^{ns}	การยอมรับ โดยรวม ^{ns}
ไม่เติมแคลเซียม (ตัวอย่างควบคุม)	7.30	7.13	7.15	6.52	6.50 ^a	5.95	6.82
แคลเซียมแลคเตต	7.15	6.97	7.13	6.33	6.02 ^b	5.73	6.57
แคลเซียมกลูโค เนต	7.15	7.15	7.07	6.70	6.48 ^a	6.03	6.83

หมายเหตุ: เป็นคะแนนเฉลี่ยจากผู้ทดสอบชิมจำนวน 60 คน

^{ns} ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

^{ab} ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งแสดงถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความหมายของคะแนนเป็นดังนี้คือ

- 1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด
- 2 หมายถึง ไม่ชอบมาก
- 3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง
- 4 หมายถึง ไม่ชอบเล็กน้อย
- 5 หมายถึง เฉย ๆ
- 6 หมายถึง ชอบเล็กน้อย
- 7 หมายถึง ชอบปานกลาง
- 8 หมายถึง ชอบมาก
- 9 หมายถึง ชอบมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาผลของแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตต่อกระบวนการหมักโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด พบว่าการเติมแคลเซียมแลคเตตและการใช้ปริมาณแคลเซียมแลคเตตที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่า pH ของตัวอย่างลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) และปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม ส่วนการเติมแคลเซียมกลูโคเนตมากกว่า 60 มิลลิกรัม แคลเซียม/100 มิลลิลิตร ทำให้ค่า pH ของผลิตภัณฑ์เพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามไม่มีผลต่อปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) ($p > 0.05$)

2. แคลเซียมแลคเตตที่จำหน่ายในทางการค้า แคลเซียมแลคเตตจากเปลือกไข่ แคลเซียมกลูโคเนตที่จำหน่ายในทางการค้า และแคลเซียมกลูโคเนตจากเปลือกไข่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว และมีปริมาณแคลเซียมเท่ากับ 13.74, 13.97, 9.20 และ 8.26 กรัม/100 กรัม ตามลำดับ

3. ผลการเติมแคลเซียมแลคเตตและกลูโคเนตที่จำหน่ายทางการค้าและจากเปลือกไข่ ไม่มีผลต่อปริมาณของของแข็งที่สามารถละลายได้ทั้งหมด pH ค่าความเป็นกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น % ของกรดแลคติก) ค่าสี (L^* , a^* และ b^*) การแยกชั้นของน้ำและความหนืด รวมทั้งคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสทางด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวมของโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ได้ แต่มีผลต่อคะแนนการทดสอบทางประสาทสัมผัสด้านการยอมรับของสี กลิ่น และความหนืด

4. ผลของการเติมแคลเซียมแลคเตตและแคลเซียมกลูโคเนตต่อปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ โยเกิร์ตชนิด *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* และ *Streptococcus thermophilus* พบว่าโยเกิร์ตทุกตัวอย่างมีปริมาณเชื้อจุลินทรีย์โยเกิร์ตสูงกว่า 1×10^8 โคโลนี/มิลลิลิตร ตลอดช่วงระยะเวลาการเก็บรักษาเป็นเวลา 7 วัน ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานของ IDF (1988)

5. โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดเสริมแคลเซียมจากเปลือกไข่ สามารถเป็นแหล่งที่ดีของแคลเซียมได้ โดยมีปริมาณแคลเซียมอยู่ในช่วง 25.00-28.93% Thai RDI (199.80-231.45 มิลลิกรัม/1 หน่วยบริโภค)

ข้อเสนอแนะ

1. ข้าวโพดที่ใช้ผลิตโยเกิร์ต ควรเป็นข้าวโพดที่อยู่ในระยะที่เป็นน้ำนม และควรมีระยะเวลาในการเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °ซ ไม่เกิน 1 วันเพื่อป้องกันการสูญเสียน้ำตาลในเมล็ดซึ่งจะทำให้ความหวานลดลงได้
2. กระบวนการผลิตควรผ่านกระบวนการโฮโมจีไนเซชันก่อนกระบวนการให้ความร้อนเพื่อให้โยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพดที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่เรียบเนียนขึ้น



บรรณานุกรม

- กรมวิชาการเกษตร. 2524. เอกสารวิชาการ เล่มที่ 4 ข้าวโพด. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 191น.
- กองโภชนาการ. 2547. ปริมาณแคลเซียมในอาหารไทย. กรุงเทพฯ: กองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 48น.
- จิรากร ประเสริฐชีวะ. 2546. การพัฒนาโยเกิร์ตน้ำนมข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. 216น.
- บุญจันทร์ สายยิ้ม. 2530. การใช้นมถั่วเหลืองผสมนมโคในการผลิตนมเปรี้ยว. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 110น.
- นิพนธ์ ไชยมงคล. ม.ป.ป. ข้าวโพดหวาน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http:// www.agric-prod.mju.ac.th/vegetable/file_link/sweet%20corn.pdf](http://www.agric-prod.mju.ac.th/vegetable/file_link/sweet%20corn.pdf) (10 มกราคม 2548)
- นิพล ธนัญญา. 2541. แคลเซียมกับกระดูก. นิตยสารหมอชาวบ้าน. 20(283): 11-13.
- วรารุณ คฤษณะ และ รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2532. เทคโนโลยีการหมักในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 209น.
- สุมาลี เหลืองสกุล. 2541. จุลชีววิทยาทางอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: ชัยเจริญ, หน้า 48, 51, 209-211.
- อริ ปั่นแปลง. 2545. สถานการณ์ข้าวโพดหวาน. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา [http:// www.web.oae.go.th/faq/](http://www.web.oae.go.th/faq/) (10 มกราคม 2548)
- AOAC. 2000. Official Method of Analysis of AOAC International. 17th ed. AOAC Inc. Arlington, Virginia, USA.
- Azanza, F., B.P. Klein and J.A. Juvik. 1996. Sensory characterization of sweet corn lines differing in physical and chemical composition. Journal of Food Science. 61(1): 253-257.
- Bourlioux, P. and P. Pochart. 1988. Nutritional and health properties of yogurt. World Review of Nutrition and Diet. 56:217-58.

- Committee on Food Chemicals Codex, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine.
1996. Food Chemicals Codex. 3rd ed. National Academy Press, Washington, D.C.
- Daengprok W., Garnjanagoonchorn W. and Mine Y. 2002. Fermented pork sausage fortified with commercial or hen eggshell calcium lactate. Meat Science. 62(2) : 199-204.
- Dave, R.I. and N.P. Shah. 1997. Viability of yoghurt and probiotic bacteria in yoghurts made from commercial starter culture. International Dairy Journal. 7: 31-41.
- Eades, C.H, and M. Womack. 1952. Calcium as a growth stimulant for *Lactobacillus casei* . 322-325. [Online]. Available [http:// www.jbc.org](http://www.jbc.org). (6 เมษายน 2550).
- Fligner, K., J.B. Lindamood and P.M.T. Hansen. 1985. Fortification of low – fat plain yoghurt with calcium gluconate . Cultured Dairy Product Journal. 23: 5-9.
- Hall, R. 2003. What You Need to Know About Nutrition: Got a Question?; Corn, Sweet, Yellow, Raw (Scientific Name: *Zea mays*). [Online]. Available <http://nutrition.about.com/library/foodfind/blcorn.htm> (Access on: 4 June 2003).
- Harrigan, W.F. 1998. Laboratory Methods in Food Microbiology. 3rd ed. London: Academic Press Limited, p.261.
- International Dairy Federation. 1988. Yoghurt: Enumeration of characteristic organisms – colony count technique at 37 °C, IDF Standard No.117A Brussels.
- Joshi N.S., Muthukumarappan K., and Dave R.I. 2004. Modeling rheological characteristics and calcium content of Mozzarella cheese. Journal of Food Science .69(3) :97-101.
- Kristo, E., C.G. Biliaderis and N. Tzanetakis. 2003. Modelling of the acidification process and rheological properties of milk fermented with a yoghurt starter culture using response surface methodology. Food Chemistry. 83: 437-446.
- Makhlouf, J., J. Zee, N. Tremblay, A. Belanger, M. Michaud and A. Gosselin. 1995. Some Nutritional characteristics of beans, sweet corn and peas (raw, canned and frozen) produced in the province of Quebec. Food Research International. 28(3): 253-259.

- Meinke, W. and B. Holland. 1949. Evidence for a calcium requirement for *Lactobacillus delbrueckii* 9595. [Online]. Available [http:// www.jbc.org](http://www.jbc.org). (6 เมษายน 2550).
- Pirkul, T., A. Temiz and Y.K. Erden. 1997. Fortification of yoghurt with calcium salts and its effect on starter microorganisms and yoghurt quality. *International Dairy Journal*. 7(8/9): 547-552.
- Pomeranz, Y. 1987. *Modern Cereal Science and Technology*. 2nd ed. New York: VCH Publisher, Inc., pp. 49-52.
- Tamine, A.Y. and R.K. Robinson. 1999. *Yoghurt Science and Technology*. 2 nd ed. England: TJ. International
- Vivar-Quintana, AM., E. Beneitez De La Mano and I. Revilla. 2005. Relationship between somatic cell counts and the properties of yoghurt made from ewe milk. *International Dairy Journal*. . [Online]. Available <http://www.elsevier.com/locate/ldairyj> (20 November 2005).
- Walstra, P., T.J. Geurts, A. Noomen, A. Jellema, M.A.J.S. Van Boekel. 1999. *Dairy Technology*. New York: Marcel Dekker, Inc.,
- Weaver, C.M. 1998. Calcium in food fortification strategies. *International Dairy Journal*. 8: 443 – 449.
- Yazici, F., V.B. Alvarez, and P.M.T. Hansen. 1997. Fermentation and properties of calcium-fortified soy milk yogurt. *Journal of Food Science*. 62(3): 457-461.

ภาคผนวก



ภาคผนวกที่ 1

การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมด (คำนวณเป็น %กรดแลคติก)

การวิเคราะห์ปริมาณกรดทั้งหมดโดยวิธีการไตเตรต (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร
3. ขวดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานไฮดรอกไซด์ 0.1 Molar ; M เตรียมโดยละลายไฮดรอกไซด์ 4 กรัม ในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรให้ได้ 1 ลิตร
2. ฟีนอล์ฟธาเลอินอินดิเคเตอร์ (Phenolphthalein) 1%

วิธีการวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างโยเกิร์ตจำนวน 10 กรัม ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน หลังจากนั้นปิเปตสารละลายที่ได้ปริมาณ 10 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร หยดฟีนอล์ฟธาเลอินลงไป 2-3 หยด
2. นำไปไทเทรตกับสารละลายไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1M จนถึงจุดยุติ เมื่อสารละลายในขวดรูปชมพู่เป็นสีชมพูอ่อน ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าที่ใช้และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์กรดทั้งหมดโดยเทียบกับค่ามาตรฐานดังนี้คือ 1 มิลลิลิตรของสารละลายไฮดรอกไซด์ 0.1 M ทำปฏิกิริยาสมมูลพอดีกับกรดแลคติก 0.009 กรัม

ภาคผนวกที่ 2

การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียม

โดยวิธีไตเตรทตามวิธีของ Committee on Food Chemical Codex (1996)

อุปกรณ์

1. บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (3 N)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (1 N)
3. 0.05 M edetate disodium (EDTA- Na_2)
4. อินดิเคเตอร์ hydroxyl naphthol blue

วิธีการทดลอง

1. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 148 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (3 N) ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร หลังจากนั้นทำการเติมตัวอย่างแคลเซียมที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน (ประมาณ 350 มิลลิกรัม)
2. เติมสารละลาย 0.05 M EDTA ปริมาณ 30 มิลลิลิตร
3. เติม 1 N. โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 30 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมอินดิเคเตอร์ hydroxyl naphthol blue (ประมาณ 0.3 กรัม) จะได้สารละลายที่มีสีแดง ทำการไตเตรทด้วย 0.05 M EDTA จนกระทั่งถึงจุดยุติ จะได้สารละลายที่มีสีน้ำเงิน
4. บันทึกปริมาณ EDTA ที่ใช้ทั้งหมด (30 มิลลิลิตร + ปริมาณที่ไตเตรท) หลังจากนั้นคำนวณปริมาณแคลเซียมในแต่ละตัวอย่างดังนี้

$$\% \text{ แคลเซียมในตัวอย่าง} = \frac{M \text{ ของ EDTA} \times \text{ปริมาณ EDTA ที่ใช้ (มิลลิลิตร)} \times 2.04 \times 100}{0.05 \times \text{น้ำหนักของตัวอย่าง (มิลลิกรัม)}}$$

โดยวิธี Atomic Absorption Spectrophotometry (AOAC, 2000)

อุปกรณ์

1. ขวดปรับปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ถ้วยครุชเชิล
3. เตาเผาไฟฟ้าควบคุมอุณหภูมิ ที่ระดับ 250 ถึง 600 $\pm$ 10 องศาเซลเซียส

สารเคมี

1. น้ำกลั่น
2. LaCl_3 (Lanthanum chloride solution) ใช้ La_2O_3 11.7 g ($\pm$ 100 มิลลิกรัม) ใน volumetric flask ขนาด 1 ลิตร เติมน้ำ DI เพื่อทำให้ผง LaCl_3 เปียกอย่างช้าๆ หลังจากนั้นเติม HCL เข้มข้นปริมาณ 50 มิลลิลิตร ทำให้ละลายและปรับปริมาตรด้วยน้ำ DI ให้ครบ 1 ลิตร
3. 20% HNO_3

วิธีการทดลอง

1. ทำความสะอาดและแช่เครื่องแก้วใน 20% HNO_3 เป็นเวลา 1 คืน หลังจากนั้น Rinse ด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้งก่อนใช้
2. ใส่ตัวอย่างที่ทราบปริมาณที่แน่นอนลงใน ถ้วยครุชเชิล (ประมาณ 1 กรัม)
3. ทำตัวอย่างให้แห้งโดยใช้ตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
4. นำไปเผาบน hot plate จนหมดควัน
5. เผาบนเตาเผาไฟฟ้าที่ 525 องศาเซลเซียสจนได้เถ้าขาว โดยทั่วไปใช้เวลา 3-5 ชั่วโมง แต่น้อยกว่า 8 ชั่วโมง
6. เจือจางตัวอย่างโดยใช้ LaCl_3 เพื่อ Dilute ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ทำการตรวจวัดปริมาณแคลเซียมด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometry

ภาคผนวกที่ 3

การวิเคราะห์ค่าการแยกตัวของน้ำ (syneresis)

ดัดแปลงจากวิธีของ Vivar-Quintana et al. (1997)

อุปกรณ์

1. เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) (Sorvall model RC-5C PLUS, U.S.A)
2. เครื่องชั่ง (analytical balance: model CP 224 S, Sartorius, Germany)
3. หลอด Centrifuge พร้อมฝาปิด
4. ปีกเกอร์ 50 มิลลิลิตร
5. หลอดหยด

วิธีการวิเคราะห์

1. เปิดสวิชเครื่องหมุนเหวี่ยงตั้งค่าความเร็วรอบ 2,300 rpm และอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส จากนั้นรอให้เครื่องปั่นเหวี่ยง มีอุณหภูมิตามที่กำหนดไว้
2. ชั่งตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์ลงในหลอด Centrifuge ประมาณ 30 กรัมทำการหมุนเหวี่ยงเป็นเวลา 10 นาที
3. หลังครบกำหนดเวลาใช้หลอดหยดดูดน้ำที่แยกตัวออกจากตัวอย่างมาทำการชั่งน้ำหนักที่แน่นอนบันทึกผล คำนวณ % การแยกตัวของน้ำ ได้ดังนี้

$$\% \text{ การแยกตัวของน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่แยกตัวออก}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้}} \times 100$$

ภาคผนวกที่ 4

การวิเคราะห์ความหนืด

โดยเครื่อง Brookfield Viscosimeter (model DV III, U.S.A)

วิธีการวิเคราะห์

1. เช็กระดับลูกน้ำ และเปิด Power switch ด้านหลังตัวฐานของเครื่อง
2. ถอดเข็มออก กดปุ่ม Motor on/off เครื่องจะปรับศูนย์อัตโนมัติใช้เวลาประมาณ 15 วินาที
3. เครื่องจะแสดง “atozero is complete replace spindle and press next key” หลังจากนั้นกดปุ่ม next
4. ใส่เข็มเบอร์ที่ต้องการจุ่มเข็มลงในตัวอย่างถึงจุดรอยที่กึ่งกลางเข็มกดปุ่ม “SELECT SPDL” เพื่อทำการป้อนข้อมูลของเข็มที่ใช้วัดตัวอย่าง โดยตั้งค่าความเร็วรอบเท่ากับ 10 รอบ/นาที จับเวลาในการหมุนเท่ากับ 90 วินาที บันทึกค่าความหนืดเป็นเซนติพอยต์
5. เมื่อสิ้นสุดการวัด กดปุ่ม Motor on/off

ภาคผนวกที่ 5

การวัดค่าสี

โดยเครื่อง Colorimeter (JukiTri-stimulus colorimeter model JC 801, Japan)

วิธีการวิเคราะห์

1. เช็บบปลั๊กเครื่องวัดสี ช้อนเครื่อง 100 นาที่ก่อนใช้งาน
2. เลือก Measurement โดยการ Enter แล้วนำ trap box วางที่ช่องวัดสีด้านบน กด F1
3. วาง Standard calibration ในช่องวัดสี กด F1
4. เข้าสู่หน้าจอพร้อมใช้งาน แล้วกด F1 เพื่อทำการวัดค่ามาตรฐาน
5. นำตัวอย่างใส่ในภาชนะและนำไปวางลงในช่องใส่ตัวอย่าง กด F1 เครื่องจะทำการวัดสีและจะปรากฏข้อมูลที่หน้าจอตามลำดับ ให้เปลี่ยนตัวอย่างโดยใช้ภาชนะเดียวกันกับข้างต้น และกด F1 เมื่อต้องการลบข้อมูลที่อยู่บนหน้าจอให้กด Enter และ Esc
6. เมื่อสิ้นสุดการวัดสีแล้วกด F10 จนเข้าสู่เมนูหลัก เลือก End โดยกด Enter ปิดโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยระบบ shut down

ภาคผนวกที่ 6

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ตัวอย่าง โยเกิร์ตหน้าน้ำข้าวโพด

ชุดที่

ชื่อผู้ทดสอบ อายุ.....ปี เพศ.....วันที่

คำแนะนำ ให้ชิมตัวอย่างที่ท่านได้รับตามลำดับแล้วให้คะแนนการยอมรับแต่ละ

คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตหน้าน้ำข้าวโพดตามคำอธิบายคะแนนข้างล่างนี้ (กรุณาบ้วนปากระหว่างตัวอย่าง)

1 = ไม่ยอมรับมากที่สุด 4 = ไม่ยอมรับเล็กน้อย 7 = ยอมรับปานกลาง

2 = ไม่ยอมรับมาก 5 = เฉยๆ 8 = ยอมรับมาก

3 = ไม่ยอมรับปานกลาง 6 = ยอมรับเล็กน้อย 9 = ยอมรับมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง คุณลักษณะ	.....	.....	.....
ลักษณะปรากฏ	.....	.....	.....
สี	.....	.....	.....
กลิ่น	.....	.....	.....
รสชาติ	.....	.....	.....
เนื้อสัมผัส	.....	.....	.....
การยอมรับรวม	.....	.....	.....

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอขอบคุณ

ภาคผนวกที่ 7

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อ *Streptococcus thermophilus* และ *Lactobacillus bulgaricus*

ดัดแปลงจากวิธีของ Kristo *et al.* (2003)

อุปกรณ์

1. จานเพาะเชื้อ (petri dish)
2. หลอดทดลองขนาด 15 × 150 มิลลิเมตร
3. ปิเปต ขนาด 1 มิลลิลิตร
4. ตู้บ่มเชื้อ ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส

อาหารเลี้ยงเชื้อ

1. สารละลาย 0.1% peptone water
2. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป MRS Agar (Merck, Germany)
3. อาหารเลี้ยงเชื้อสำเร็จรูป M - 17 Agar (Merck, Germany)

วิธีการวิเคราะห์

1. วิธีการเตรียมตัวอย่างโยเกิร์ต

ใช้ช้อนที่ปราศจากเชื้อตักตัวอย่างอาหารใส่ขวดที่มีสารละลาย 0.1% peptone water 90 มิลลิลิตร บนเครื่องชั่ง ทำการชั่งจนได้น้ำหนัก 10 กรัม เขย่าขวดจนกระทั่งแน่ใจว่าตัวอย่างกระจายอย่างสม่ำเสมอ จะได้ตัวอย่างที่มีความเจือจาง 1:10 ใช้ปิเปตดูดตัวอย่างที่เจือจาง 1:10 จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีสารละลาย 0.1% peptone water 9 มิลลิลิตรจะได้ตัวอย่างที่เจือจาง 1:100 (10^{-2}) ทำการเจือจางตัวอย่างจนได้ความเจือจาง 1:100,000,000 (10^{-10})

2. การเพาะเชื้อ

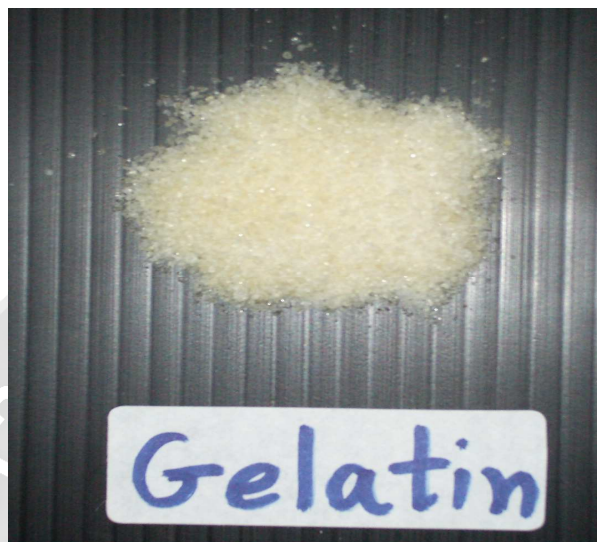
2.1 การเพาะเชื้อ *Streptococcus thermophilus* โดยใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดสารละลายตัวอย่างอาหารที่ความเจือจาง 10^{-6} ถึง 10^{-10} ลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำการ pour plate สารละลายให้ทั่วจานอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้อาหารสำเร็จรูป M - 17 Agar (Merck, Germany) ทำการบ่มเชื้อในตู้บ่มเชื้อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส

2.2 การเพาะเชื้อ *Lactobacillus bulgaricus* โดยใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ทำการดูดสารละลายตัวอย่างอาหารที่ความเจือจาง 10^{-6} ถึง 10^{-10} ลงบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อ ทำการ pour plate สารละลายให้ทั่วจานอาหารเลี้ยงเชื้อโดยใช้อาหารสำเร็จรูป MRS Agar (Merck, Germany) ทำการควบคุมให้อยู่ในสภาวะปราศจากอากาศโดยใช้อาหารสำเร็จรูป MRS Agar (Merck, Germany) ปริมาณ 10 มิลลิลิตรเททับหน้าวุ้นที่แข็งแล้ว บ่มเชื้อในตู้บ่มเชื้อเป็นเวลา 48 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 องศาเซลเซียส

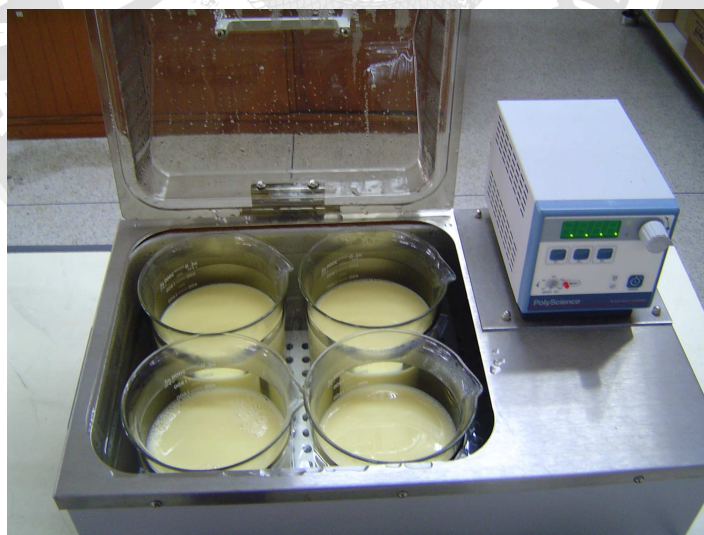
3. การตรวจนับจำนวนโคโลนี และการรายงานผล

ตัวอย่างผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตนำนมข้าวโพดหลังจากบ่มเชื้อตามกำหนดเวลาแล้ว ทำการตรวจนับจำนวนโคโลนีบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีอยู่ระหว่าง 30 - 300 โคโลนี หาค่าเฉลี่ยจากจำนวนโคโลนีในการทำซ้ำ รายงานผลการตรวจนับในรูปของจำนวนโคโลนีต่ออาหาร 1 กรัม (CFU/กรัม)

ภาคผนวกที่ 8
ภาพประกอบ



ภาพที่ 8 เจลาติน



ภาพที่ 9 การพาสเจอร์ไร้น้ำนมข้าวโพดด้วยอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)



ภาพที่ 10 การบ่มโยเกิร์ตในตู้บ่ม (incubator)



ภาพที่ 11 ลักษณะปรากฏของโยเกิร์ตนมข้าวโพด

ประวัตินักวิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

- ชื่อ-สกุล: (ภาษาไทย) นางวิจิตรา แดงปรก
(ภาษาอังกฤษ) Mrs. Wichittra Daengprok

2. รหัสนักวิจัยแห่งชาติ: 00061831

3. ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์ ระดับ 7

4. หน่วยงานและที่อยู่:

หน่วยงาน: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

ที่อยู่: ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยแม่โจ้ อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

โทรศัพท์ : 053-878116 ต่อ 215

โทรศัพท์มือถือ : 06-0039188

โทรสาร : 053-878125

E-mail address : wichittr@mju.ac.th

5. ประวัติการศึกษา:

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อ ปริญญา	สาขาวิชาและชื่อสถาบันการศึกษา
2546	เอก	ปร.ด.	วิทยาศาสตร์การอาหาร, ม.เกษตรศาสตร์
2537	โท	วท.ม.	วิทยาศาสตร์การอาหาร, ม.เกษตรศาสตร์
2528	ตรี	วท.บ.	อุตสาหกรรมเกษตร, ม.สงขลานครินทร์

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ:

โภชนาการ, เคมีของโปรตีน, การแปรรูปเนื้อสัตว์

7. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

— ชื่อเรื่อง Chicken eggshell matrix proteins enhance calcium transport in the human intestinal epithelial cells, Caco-2.

ปีที่พิมพ์ 2003

การเผยแพร่ ตีพิมพ์ใน Journal of Agricultural and Food Chemistry

เป็นหัวหน้าโครงการ

— ชื่อเรื่อง Hen eggshell matrix proteins enhance calcium transport in human intestinal epithelial cells.

ปีที่พิมพ์ 2002

การเผยแพร่ การนำเสนอภาคโปสเตอร์ในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ IFT Meeting 2002, Anaheim, California, USA.

เป็นหัวหน้าโครงการ

— ชื่อเรื่อง Fermented pork sausage fortified with commercial or hen eggshell calcium lactate.

ปีที่พิมพ์ 2002

การเผยแพร่ ตีพิมพ์ใน Meat Science

เป็นหัวหน้าโครงการ

8. งานวิจัยที่กำลังทำ

- เอนไซม์ย่อยไฟบรินจากถั่วเน่า: การสกัด การแยกและการทำให้บริสุทธิ์
- การแยกและการจัดจำแนกชนิดของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์ย่อยไฟบรินจากถั่วเน่า

ผู้ร่วมงานวิจัย

1. ชื่อ-สกุล: นางปิยวรรณ ศุภวิทิตพัฒนา

2. ตำแหน่งปัจจุบัน: อาจารย์ ระดับ 6

3. หน่วยงานและที่อยู่:

หน่วยงาน: โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม

ที่อยู่: โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก

65000

โทรศัพท์มือถือ : 01-0219590

โทรสาร : 053-948244

E-mail address : supavititpatana@yahoo.com

5. ประวัติการศึกษา:

ปีจบการศึกษา	ระดับปริญญา	อักษรย่อ ปริญญา	สาขาวิชาและชื่อสถาบันการศึกษา
2550	เอก	ปร.ด.	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, ม.เชียงใหม่
2537	โท	วท.ม.	วิทยาศาสตร์การอาหาร, ม. เกษตรศาสตร์
2534	ตรี	วท.บ.	วิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ, ม.ศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร

6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญเป็นพิเศษ:

อุตสาหกรรมเกษตร ด้านเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์พืช

7. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

— ชื่อเรื่อง ผลของการเปรียบเทียบวิธีการทำไข่เยี่ยวม้าแบบแช่กับพอก
ปีที่พิมพ์ 2539

สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย

— ชื่อเรื่อง ผลของการเปรียบเทียบวิธีการทำไข่เยี่ยวม้าแบบแช่กับพอก
ปีที่พิมพ์ 2539

สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย

— ชื่อเรื่อง ขนบปิ้งสมุนไพร
ปีที่พิมพ์ 2542

สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย

— ชื่อเรื่อง การใช้แป้งข้าวกล้องแทนที่แป้งสาลีบางส่วนในการทำขนมปัง
ปีที่พิมพ์ 2543

สถานภาพในการทำวิจัย ผู้ร่วมวิจัย

— ชื่อเรื่อง การศึกษาผลของการใช้แป้งฟักทองที่มีต่อคุณภาพของซาลาเปา
ปีที่พิมพ์ 2544

สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย

— ชื่อเรื่อง การผลิตแป้งจากกล้วย

ปีที่พิมพ์ 2545

สถานภาพในการทำวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย

